



**PENGARUH UKURAN BUBUK KOPI ROBUSTA ARGOPURO
TERHADAP KARAKTERISTIK AROMA SEDUHANNYA
BERDASARKAN POLA RESPON DARI
*GAS SENSOR ARRAY***

SKRIPSI

Oleh
Kartika Indah Aulia
NIM 151810301042

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**PENGARUH UKURAN BUBUK KOPI ROBUSTA ARGOPURO
TERHADAP KARAKTERISTIK AROMA SEDUHANNYA
BERDASARKAN POLA RESPON DARI
*GAS SENSOR ARRAY***

SKRIPSI

diajukan guna memenuhi salah satu syarat untuk
menyelesaikan Progam Studi Kimia (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh
Kartika Indah Aulia
NIM 151810301042

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Ucapan syukur alhamdulillah atas segala limpahan rahmat dari Allah SWT yang telah memudahkan segala urusan hingga terselesaikannya skripsi ini. Segala ketulusan dan rasa terima kasih yang tak terhingga, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT, yang Maha Sempurna Pertolongan-Nya;
2. Ibunda Kastin dan Ayahanda Suwarno tercinta yang telah mendoakan, memotivasi, memberi kasih sayang serta mencurahkan segala perhatian dan pengorbanan selama ini;
3. Pakdhe Ngatiran dan Budhe Nadhiroh, terimakasih atas segala dukungan dan motivasinya;
4. Guru-guru di MI Bustanul Ulum Rejosari, SMPN 1 Peterongan, SMAN Mojoagung serta dosen-dosen di Jurusan Kimia FMIPA UNEJ yang telah memberikan ilmu dan membimbing dengan penuh kesabaran;
5. Tim Kopi yang telah banyak membantu dalam penelitian saya;
6. Teman seperjuangan Chrypton Kimia 2015 terimakasih atas semua bantuan, semangat dan do'a kalian semua.
7. Semua pihak yang telah berkontribusi namun tidak dapat disebutkan satu persatu.
8. Almamater tercinta Universitas Jember;

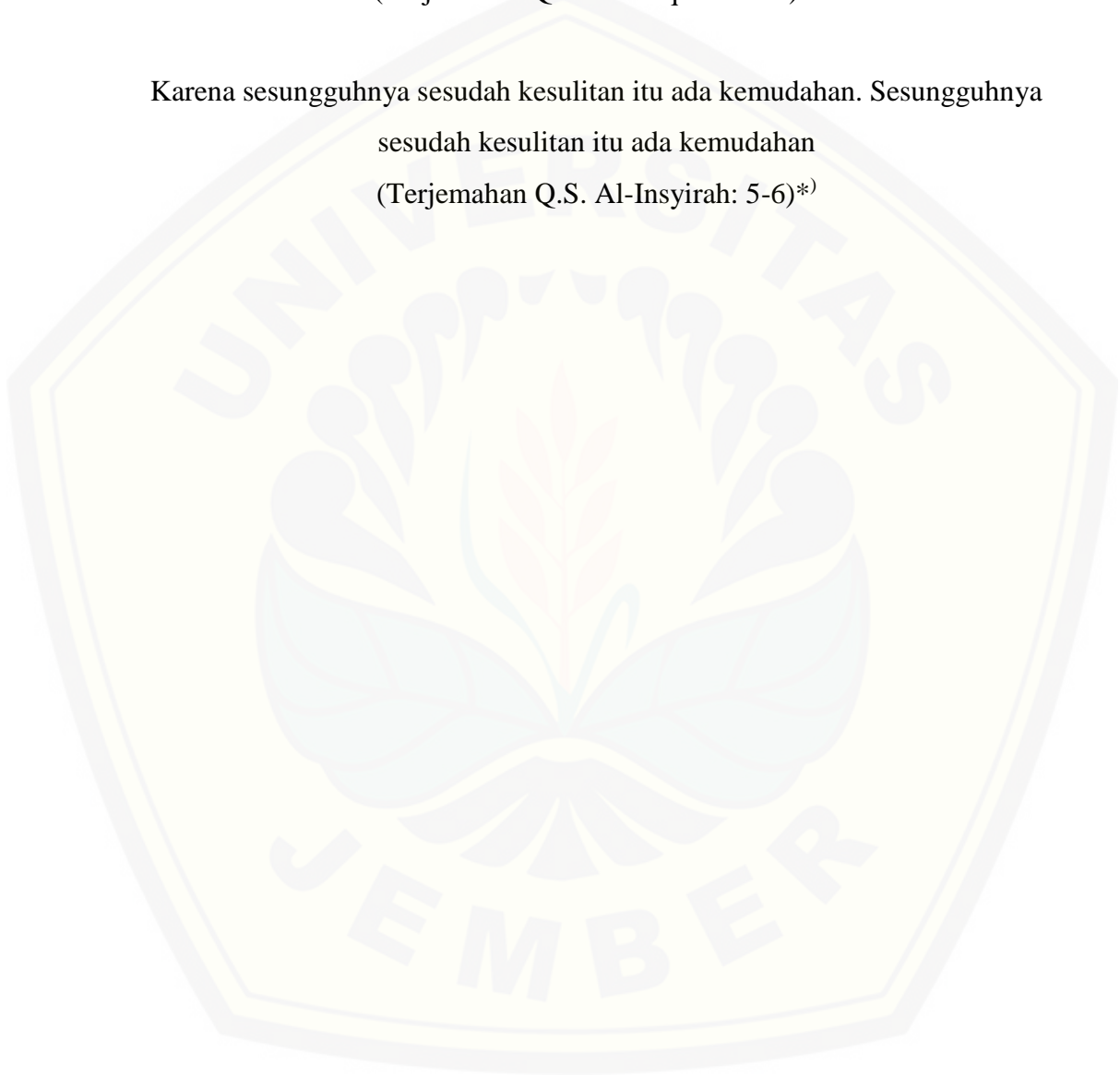
MOTTO

Jadikan sabar dan sholat sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar

(Terjemahan Q.S. Al-Baqarah: 153)*)

Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan

(Terjemahan Q.S. Al-Insyirah: 5-6)*)



*⁾ Departemen Agama Republik Indonesia. 1994. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Kartika Indah Aulia

NIM : 151810301042

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Ukuran Bubuk Kopi Robusta Argopuro Terhadap Karakteristik Aroma Seduhannya Berdasarkan Pola Respon dari *Gas Sensor Array*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab 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 di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 10 Juli 2019

Yang menyatakan,



Kartika Indah Aulia
NIM 151810301042

SKRIPSI

**PENGARUH UKURAN BUBUK KOPI ROBUSTA ARGOPURO
TERHADAP KARAKTERISTIK AROMA SEDUHANNYA
BERDASARKAN POLA RESPON DARI GAS *SENSOR ARRAY***

Oleh
Kartika Indah Aulia
NIM 151810301042

Pembimbing

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

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Ukuran Bubuk Kopi Robusta Argopuro Terhadap Karakteristik Aroma Seduhannya Berdasarkan Pola Respon dari *Gas Sensor Array*” Karya Kartika Indah Aulia NIM. 151810301042 telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas
Jember

Tim Penguji:

Ketua,



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

Anggota 1,

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

Anggota II,

Tri Mulyono, S.Si., M.Si.
NIP. 196810021998021001

Anggota III,

Tanti Haryati, S.Si., M.Si.
NIP. 198010292005012002

Mengesahkan
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,

Drs. Sujito, Ph.D.
NIP 196102041987111001

RINGKASAN

Pengaruh Ukuran Bubuk Kopi Robusta Argopuro Terhadap Karakteristik Aroma Seduhannya Berdasarkan Pola Respon dari *Gas Sensor Array*; Kartika Indah Aulia, 151810301042; 2019: 69 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Kopi (*Coffea sp.*) merupakan salah satu komoditi lokal utama daerah Jember. Mayoritas kopi yang dibudidayakan di daerah Jember merupakan kopi Robusta. Kopi-kopi tersebut banyak ditanam di berbagai kebun di Jember seperti di Sidomulyo dan Garahan yang berada di kecamatan Silo, kebun Panti di kecamatan Panti dan kebun Durjo di kecamatan Sukorambi. Komoditas kopi pada masing-masing kebun tersebut memiliki citarasa dan aroma yang khas karena dipengaruhi oleh keadaan lingkungan geografis yang berbeda. Kualitas kopi dapat dilihat dari citarasa dan aroma saat proses penyeduhan, dimana ukuran bubuk kopi menurut persepsi Indra manusia juga mempengaruhi kualitas aroma dari seduhan kopi.

Aroma khas kopi dapat digunakan untuk menganalisa kualitas kopi. *Gas sensor array* merupakan alat yang dapat digunakan untuk menentukan karakteristik aroma kopi. *Gas sensor array* yang digunakan tersusun dari sensor MQ-135, MQ-2, MQ-3, MQ-6, dan MQ-7 yang dihubungkan dengan arduino UNO. *Gas sensor array* kemudian digunakan untuk mengukur aroma yang dihasilkan oleh seduhan kopi pada erlenmeyer. Kopi robusta Argopuro diseduh dengan variasi ukuran bubuk halus (<60 mesh), medium (<45 mesh), dan kasar (8-16 mesh). Senyawa volatil penyusun aroma kopi yang dihasilkan saat kopi diseduh dialirkan menuju chamber sensor menggunakan pompa vacum. Aroma tersebut kemudian disensor sehingga diperoleh sinyal analog yang kemudian akan diubah oleh mikrokontroler arduino menjadi signal digital dan diteruskan ke PC dengan kabel USB. Analit yang diberikan akan meningkatkan konduktivitas sensor akibat adanya transfer elektron. Konduktivitas sensor yang meningkat akan menurunkan hambatan, namun meningkatkan tegangan. Data tegangan yang diperoleh tersebut kemudian dibaca dan ditampilkan pada aplikasi *LabVIEW*. Data ini akan dimunculkan pada

LabVIEW setiap 0,5 detik hingga diperoleh 250 data yang kemudian diolah dalam bentuk angka-angka oleh *microsoft excel*.

Karakteristik nilai tegangan pengukuran aroma kopi robusta Sidomulyo dengan sensor tunggal MQ-135, MQ-2, MQ-3, MQ-6, dan MQ-7 secara berturut-turut adalah 1,590; 0,755; 1,822; 1,406; dan 2,448 V. Urutan sensor array disusun berdasarkan penelitian Ramadhani (2019) pada pengujian kopi Sidomulyo yang dimulai dari MQ-135, MQ-2, MQ-3, MQ-6 dan MQ-7. Pola respon sensor ketika diuji secara tunggal dan secara array menunjukkan hasil yang berbeda. *Gas sensor array* yang digunakan untuk mengukur aroma kopi robusta Argopuro berdasarkan variasi ukuran bubuk kopi (halus, medium, dan kasar) menunjukkan bahwa variasi ukuran bubuk tersebut tidak mempengaruhi pola respon yang dihasilkan. Hasil tersebut dibuktikan dari hasil analisis *ANOVA Single Factor*, dimana hasil analisa ANOVA diperoleh nilai F_{hitung} yang lebih kecil dibanding F_{tabel} yakni $0,063 < 3,885$. Pola respon yang dihasilkan pada setiap pengulangan perdua minggu sekali dalam jangka waktu dua bulan menunjukkan pola yang sama pada semua ukuran bubuk kopi. Berdasarkan nilai tegangan yang dihasilkan dari pengukuran sensor tunggal dan array kemudian digunakan untuk menentukan kinerja sensor. Kinerja sensor tunggal dan array dilihat berdasarkan *repeatability* dan *reproducibility* nya, dimana kinerja sensor dianggap baik karena memiliki nilai %RSD yang rendah yakni kurang dari 20%.

PRAKATA

Puji syukur alhamdulillah kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, hidayah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Ukuran Bubuk Kopi Robusta Argopuro Terhadap Karakteristik Aroma Seduhannya Berdasarkan Pola Respon dari *Gas Sensor Array*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan Skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Drs. Sujito, Ph.D. selaku Dekan Fakultas MIPA Universitas Jember;
2. Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si. selaku ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember;
3. Drs. Siswoyo M.Sc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Utama dan Asnawati S.Si, M.Si selaku Dosen Pembimbing Anggota, yang telah memberikan bimbingan, nasihat dan teguran serta arahan selama penulisan skripsi;
4. Drs. Siswoyo M.Sc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Akademik;
5. Drs. Zulfikar M.Sc., Ph.D selaku ketua kelompok Riset Analitik;
6. Asnawati, S.Si, M.Si selaku ketua Laboratorium Kimia Analitik yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian di laboratorium ini;
7. Tri Mulyono S.Si, M.Si selaku Dosen Penguji I dan Tanti Haryati S.Si, M.Si. selaku Dosen Penguji II, atas waktu dan masukan yang diberikan.
8. Bapak dan ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA UNEJ yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan;
9. Teknisi Laboratorium Jurusan Kimia FMIPA UNEJ yang telah membantu.

Penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pembaca.

Jember, 15 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kopi	5
2.1.1 Definisi Kopi	5
2.1.2 Jenis Kopi	6
2.1.3 Kopi Robusta di Indonesia	6
2.1.4 Kopi Robusta Jember.....	7
2.2 Kandungan pada Kopi	7
2.3 Sensor Gas	8
2.3.1 Definisi Sensor Gas	8
2.3.2 Prinsip Kerja.....	9
2.3.3 Jenis Sensor	11
2.4 Sensor Array	12
2.4.1 Definisi	12
2.4.2 Desain Sensor Array	12
2.4.3 Aplikasi Sensor Gas Array untuk Kopi	13
2.5 Arduino	14

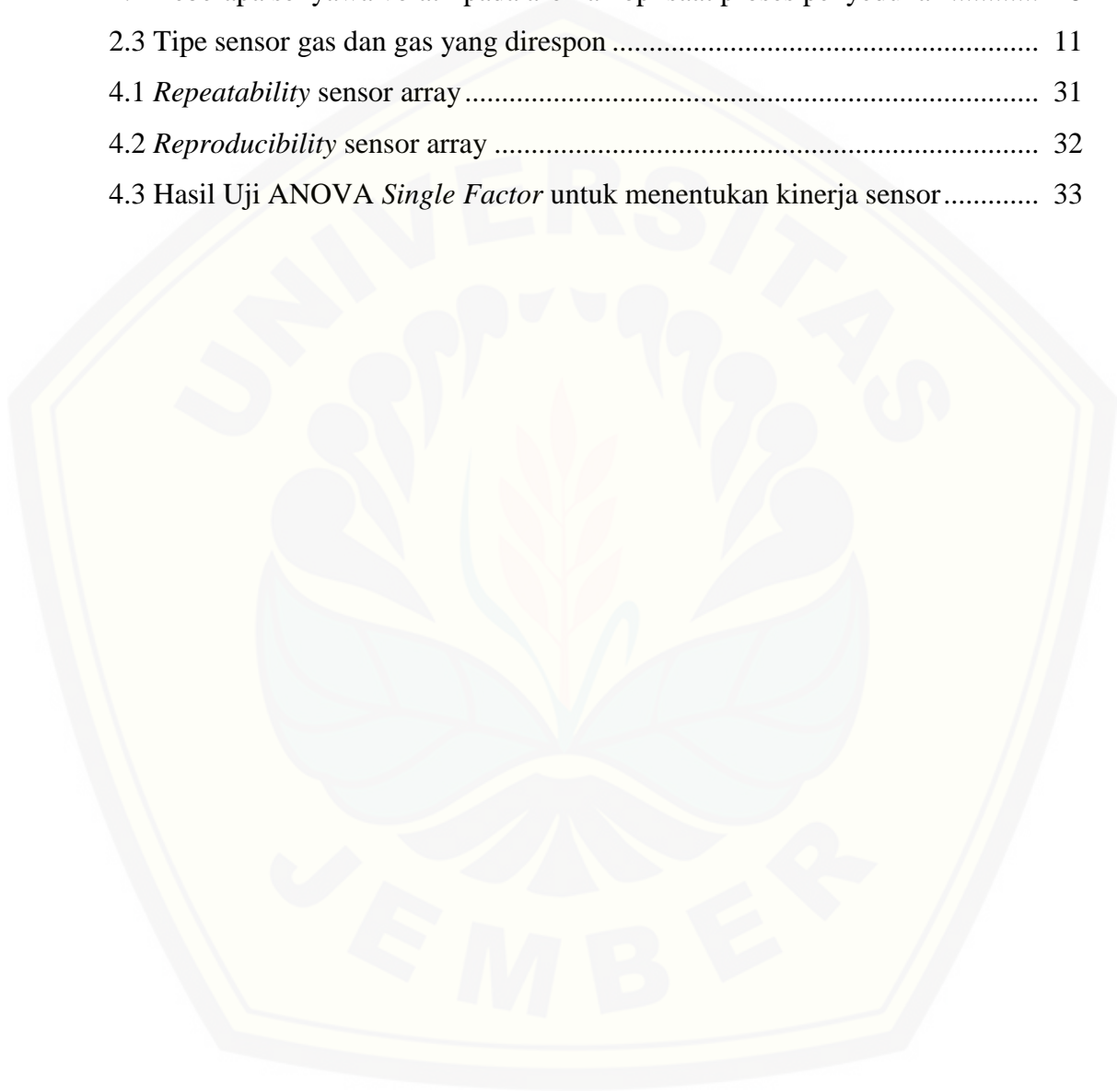
2.6 <i>Software yang Digunakan dalam Electronic Nose</i>	15
2.6.1 <i>LabVIEW</i>	15
2.6.2 <i>VISA</i>	16
2.7 Teknik Preparasi Sampel Kopi	16
2.7.1 <i>Penyangraian (Roasting)</i>	16
2.7.2 <i>Penyeduhan</i>	17
2.8 Analisis Hasil Pengukuran	17
2.8.1 <i>Repeatability</i>	17
2.8.2 <i>Reproducibility</i>	18
BAB 3. METODE PENELITIAN	19
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	19
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	19
3.2.1 <i>Alat</i>	19
3.2.2 <i>Bahan</i>	19
3.3 Diagram Alir Penelitian	20
3.4 Prosedur Kerja	21
3.4.1 <i>Rancangan Penyusunan Sensor</i>	21
3.4.2 <i>Desain Susunan Alat</i>	21
3.4.3 <i>Block Diagram Penelitian</i>	23
3.4.3 <i>Preparasi Sampel Kopi</i>	23
3.4.4 <i>Pengambilan dan pengolahan data</i>	24
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Uji Respon Sensor Tunggal dan Array Terhadap Aroma Kopi 26	
4.1.1 <i>Hasil Uji sensor tunggal terhadap aroma seduhan kopi</i>	26
4.1.3 <i>Perbandingan Respon Sensor Tunggal dan Sensor Array</i>	27
4.2 Respon Sensor Array Terhadap Variasi Ukuran Bubuk Kopi 29	
4.4 Kinerja Sensor Array terhadap Karakterisasi Aroma Kopi	31
BAB 5. PENUTUP	34
5.1 Kesimpulan	34
5.2 Saran	34
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN	40

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Komponen penyusun sensor gas	9
2.2 Model penghalang potensial penghalang (a) pada keadaan tanpa gas (udara bebas), (b) pada keadaan ada gas target	10
2.3 Rangkaian dasar sensor gas.....	10
2.4 Skema pembuatan ruang sensor gas.....	12
2.5 Desain Sistem Gas Sensor Array	13
2.6 Pola respon sensor array (a) kopi Arabika; (b) kopi Robusta	13
2.7 Respon gas sensor array (a) aroma campuran kopi Arabika dan Robusta; (b) udara bebas (tanpa kopi).....	14
2.8 Label Arduino UNO.....	15
2.9 Tampilan utama perangkat lunak <i>LABVIEW</i>	15
2.10 <i>LabVIEW Interface For Arduino</i> pada <i>VI package manager</i>	16
3.1 Diagram alir penelitian.....	20
3.2 Rancangan penyusunan sensor.....	21
3.3 Desain alat untuk percobaan	22
3.4 Block Diagram Penelitian	23
4.1 Grafik respon sensor tunggal terhadap aroma seduhan kopi	26
4.2 Perbandingan respon sensor ketika disusun tunggal dan array terhadap aroma kopi robusta Argopuro	28
4.3 Pola respon sensor array terhadap kopi Robusta Argopuro dengan variasi ukuran bubuk kopi pada rata-rata keempat pengulangan.....	29
4.4 Pola respon sensor array terhadap pengulangan perminggu dalam jangka waktu 2 bulan pada ukuran bubuk kopi halus (<60 mesh)	32

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Data Perkembangan Luas Area dan Produksi kopi Jember	7
2.2 Beberapa senyawa volatil pada aroma kopi saat proses penyeduhan	8
2.3 Tipe sensor gas dan gas yang direspon	11
4.1 <i>Repeatability</i> sensor array	31
4.2 <i>Reproducibility</i> sensor array	32
4.3 Hasil Uji ANOVA <i>Single Factor</i> untuk menentukan kinerja sensor	33



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
4.1 Perhitungan Keterulangan (<i>Repeatibility</i>) Sensor Tunggal	40
4.2 Perhitungan Keterulangan (<i>Repeatibiliy</i>) Sensor Array.....	45
4.3 Perbandingan nilai respon sensor tunggal dan array	49
4.4 Nilai tegangan rata-rata dari sensor array selama empat kali pengulangan untuk ketiga ukuran bubuk.....	49
4.5 Perhitungan <i>Anova single Factor</i> untuk mengetahui pengaruh Ukuran Bubuk Kopi terhadap Respon Sensor	50
4.6 Persentase RSD setiap varian ukuran bubuk kopi untuk <i>repeatability</i> sensor array.....	51
4.7 persentase RSD setiap varian ukuran bubuk kopi untuk <i>reproducibility</i> sensor array	52
4.8 Uji <i>ANOVA Single Factor</i> Untuk Menentukan <i>Reproducibility</i> Sensor Array	53

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kopi (*Coffea sp.*) merupakan salah satu komoditi lokal utama daerah Jember. Komoditas kopi dari berbagai kebun di Jember memiliki citarasa dan aroma yang khas karena dipengaruhi oleh keadaan lingkungan (Sari dan Nugroho, 2016). Mayoritas Jenis kopi yang banyak dibudidayakan di daerah Jember adalah kopi jenis Robusta. Jenis kopi Robusta tersebut ditanam di berbagai kebun di Jember, salah satu lokasinya berada di Lereng Gunung Argopuro, perkebunan Durjo desa Karangpring kecamatan Sukorambi. Kopi robusta Argopuro yang dihasilkan oleh perkebunan Durjo tersebut memiliki kualitas yang baik dikarenakan lokasi perkebunannya berada pada dataran tinggi (Kusmiati, 2013).

Aroma kopi dipengaruhi oleh kandungan senyawa volatil yang dimiliki dan dikeluarkan oleh kopi saat diseduh (Baggenstoss *et al.*, 2008). Beberapa senyawa volatil yang terkandung dalam aroma kopi berasal dari gugus pirazin, keton, furan, aldehid, alkohol, benzena, piridin, amina, ester, asam organik, thiazol, dan sulfur (Rios *et al.*, 2007). Faktor penentu kualitas dari aroma kopi yang dihasilkan menurut Asiah dkk. (2017) adalah suhu dan ukuran partikel bubuk saat proses penyeduhan, dimana suhu air seduh optimal untuk kopi adalah 92°C dengan bubuk kopi berukuran halus.

Analisis dan kendali mutu merupakan bagian terpenting dalam produksi kopi (Pardo *et al.*, 2000). Salah satu kendali mutu pada kopi yang dapat dilakukan adalah dengan uji aroma. Metode yang banyak digunakan untuk menguji kualitas kopi diantaranya menggunakan “*cup test*” yang biasanya dilakukan oleh para penguji ahli (*coffee testers*), namun cara ini dinilai cukup subjektif karena bergantung pada ketrampilan penciuman penguji, serta membutuhkan biaya tenaga kerja yang besar (Shilbayeh *et al.*, 2004). Uji kualitas kopi juga dapat dilakukan dengan beberapa instrumen diantaranya, dan *High Performance Liquid Chromathography* (HPLC) (Rios *et al.*, 2007), *Fourier Transform Infrared* (FTIR) (Wang dan Lim, 2012) dan kemudian berkembang lagi dengan metode *Gas Chromatography Mass Spectrum* (GS-MS) (Barbin *et al.*, 2014). Beberapa

instrumen yang telah digunakan untuk menguji kualitas kopi tersebut diperoleh hasil yang baik, akan tetapi pengujiannya membutuhkan waktu yang lama, biaya yang relatif mahal, harus dilakukan oleh tenaga terlatih untuk pengujian, dan tidak mudah dalam pengoperasian instrumen (Rodríguez *et al.*, 2010).

Upaya untuk mengembangkan instrumen pendeteksi aroma kopi sudah dikembangkan dengan menggunakan gas sensor. Persaud dan Dodd (1982) mulai memperkenalkan instrumen untuk mendeteksi aroma menggunakan sensor array yang terinspirasi oleh kinerja sistem penciuman, instrumen tersebut adalah *electronic nose*. *E-nose* merupakan suatu sistem yang menggunakan berbagai jenis sensor gas berbeda yang dapat disusun secara tunggal, array atau dapat juga dengan mengkombinasi keduanya. *E-nose* memiliki beberapa kelebihan untuk pendeteksian aroma yaitu dalam hal analisis yang lebih cepat, biaya yang lebih murah dan memiliki sensitivitas tinggi terhadap aroma (Tian *et al.*, 2013).

E-nose ini hanya mampu memberikan sinyal pelacak digital dari sampel dan tidak dapat mengetahui kandungan serta informasi tentang sifat senyawa yang dimiliki oleh sampel tersebut (Peris dan Esuder-Gilabert, 2009). Senyawa organik mudah menguap (VOCs) yang berada dalam kandungan aroma kopi ketika di alirkan ke *gas sensor array* akan terdeteksi dengan menghasilkan suatu pola karakteristik tertentu dari aroma tersebut (Berna, 2010). Penerapan *electronic nose* ini telah banyak dilakukan diberbagai bidang dalam analisis makanan dan salah satunya digunakan sebagai alternatif instrumen uji kopi berdasarkan aroma (Rodríguez *et al.*, 2010).

Penelitian kopi menggunakan *e-nose* di Indonesia sudah mulai dikembangkan, diantaranya oleh Rabersyah *et al.* (2016) yang mengidentifikasi jenis bubuk kopi Robusta dan Arabika (tanpa penyeduhan) dengan menggunakan 5 jenis sensor gas TGS yang disusun secara array dengan analisis jaringan saraf tiruan backpropagation. Penelitian tersebut berhasil mengidentifikasi jenis bubuk kopi Robusta, kopi Arabika dan uara bebas (tanpa kopi) dengan tingkat keberhasilan berturut-turut adalah 100%, 40% dan 100%. Penelitian kopi menggunakan *e-nose* juga telah dilakukan oleh Muttalib *et al.* (2012) yang mengidentifikasi aroma campuran (*blending*) biji sangrai kopi Arabika dan Robusta menggunakan 4 jenis

sensor gas TGS yang disusun secara array. Hasil analisis dari penelitian tersebut diperoleh bahwa jaringan saraf tiruan dapat mengklastering aroma campuran kopi Robusta dan kopi Arabika.

Penelitian untuk mengetahui pengaruh ukuran bubuk dan mengkarakterisasi aroma seduhan kopi robusta menggunakan *gas sensor array* belum pernah dilakukan di Indonesia. Ukuran bubuk kopi menjadi faktor penting yang perlu dijustifikasi untuk mendapatkan hasil seduhan yang optimal, dimana ukuran bubuk kopi yang semakin kecil maka luas permukaan semakin besar sehingga meningkatkan laju dan total ekstraksi senyawa volatil yang terkandung dalam kopi ketika diseduh. *Market research* pada konsumen membuktikan bahwa komponen aromatik yang tertuang dalam aroma seduhan kopi menjadi alasan mendasar untuk mengkonsumsi kopi (Asiah *et al.*, 2017). Penelitian terkait mengenai pengaruh ukuran bubuk kopi terhadap karakteristik aroma dari pola respon *gas sensor array* yang belum pernah dilakukan menjadi alasan penelitian ini patut untuk dikaji.

Berkembangnya sistem sensing gas dengan kekhasan aroma kopi di Jember ini menjadi kajian yang menarik untuk dilakukan. Uji aroma dari seduhan kopi robusta Argopuro dilakukan menggunakan 5 unit sensor gas MQ produksi Zhengzhou Winsen Electronics Technology CO., LTD yang disusun secara array. Penelitian ini difokuskan pada bagaimana karakteristik pola respon *gas sensor array* yang bekerja untuk mendeteksi aroma kopi Argopuro dengan variasi ukuran bubuk kopi Argopuro pada proses penyeduhan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1.2.1 Bagaimana perbandingan respon sensor ketika disusun secara tunggal dan array terhadap aroma seduhan kopi Argopuro?
- 1.2.2 Bagaimana pengaruh ukuran partikel bubuk kopi Argopuro terhadap karakteristik pola respon *gas sensor array* dari aroma seduhan kopi Argopuro?
- 1.2.3 Bagaimana kinerja *gas sensor array* terhadap aroma seduhan bubuk kopi argopuro pada jangka waktu 2 bulan.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1.3.1 Untuk mengetahui perbandingan respon sensor ketika disusun secara tunggal dan array.
- 1.3.2 Untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran partikel bubuk kopi Argopuro terhadap karakteristik pola respon yang dihasilkan dari *gas sensor array*.
- 1.3.3 Untuk mengetahui kinerja *gas sensor array* dalam mendeteksi aroma seduhan kopi Argopuro berdasarkan repeatability dan reproducibility dalam jangka waktu selama 2 bulan pemakaian.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1.4.1 Sensor gas yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 5 sensor gas jenis MQ (MQ-2, MQ-3, MQ-6, MQ-7, dan MQ-135).
- 1.4.2 Pengambilan dan lamanya waktu penyimpanan sampel kopi Robusta Argopuro tidak ditentukan.
- 1.4.3 Suhu Roasting kopi yang digunakan adalah 205-209°C selama 15 menit (*medium to dark roast*).
- 1.4.4 Suhu air panas yang digunakan untuk proses penyeduhan adalah 92°C.
- 1.4.5 Suhu air saat proses penyeduhan kopi di dalam wadah sampel tidak diukur.
- 1.4.6 Optimasi hanya dilakukan pada penyusunan sensor tidak termasuk pada susunan seluruh alat.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1.5.1 Data karakteristik aroma kopi Robusta Argopuro berdasarkan pola respon dari *gas sensor array ini* dapat dijadikan sebagai bank data karakteristik kopi lokal di Jember.
- 1.5.2 *e-nose* menggunakan *gas sensor array* dapat dijadikan sebagai instrument yang dapat dikembangkan untuk uji kualitas mutu kopi berdasarkan aromanya.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kopi

2.1.1 Definisi Kopi

Kopi (*Coffea sp.*) Kopi merupakan produk pertanian yang mengandalkan aspek kualitas citarasa, sehingga sasaran akhir dari budidaya kopi adalah produk biji yang bercitarasa tinggi. Citarasa kopi sangat dipengaruhi oleh varietas, agroteknologi, waktu panen, metode pemetikan, metode pengolahan dan metode penyimpanan. Citarasa kopi sangat dipengaruhi oleh cara pengolahannya, yaitu proses fermentasi dan penyangraian. proses fermentasi berperan dalam pembentukan senyawa prekursor pembentuk citarasa, sedangkan proses penyangraian berperan dalam pembentukan senyawa volatil dan non volatil yang berkontribusi terhadap citarasa khas kopi (Towaha *et al.*, 2013).

Tanaman kopi termasuk kedalam genus *Coffea*, dimana genus *Coffea sp.* mencakup hampir 60 spesies, tetapi hanya ada dua spesies yang ditanam dalam skala luas di seluruh dunia, yaitu kopi Arabika (*Coffea arabica*) dan kopi Robusta (*Coffea robusta*). Sistem taksonomi kopi menurut Rahardjo (2012) adalah sebagai berikut.

Kingdom : *Plantae* (Tumbuhan)
Subkingdom : *Tracheobionta* (Tumbuhan berpembuluh)
Super divisi : *Spermatophyta* (Tumbuhan penghasil biji)
Divisi : *Magnoliophyta* (Tumbuhan berbunga)
Kelas : *Magnoliopsida* (Tumbuhan berkeping dua/ dikotil)
Sub kelas : *Asteridae*
Ordo : *Rubiales*
Famili : *Rubiaceae* (suku kopi-kopian)
Genus : *Coffea*
Spesies : *Coffea sp.* [*Coffea arabica*, *Coffea canephora var robusta*, *Coffea liberica*].

2.1.2 Jenis Kopi

Kopi secara garis besar terbagi menjadi tiga jenis utama, yakni:

a. Kopi Arabika (*Coffea arabica*)

Kopi arabika berasal dari daerah pegunungan Ethiopia di Afrika. Kopi arabika tumbuh baik secara alami di negara asalnya yakni di hutan-hutan pada dataran tinggi sekitar 1.500-2.000 meter diatas permukaan laut (Aak, 2006). Kopi Arabika memiliki banyak kandungan senyawa propanal, asetanilida dan aldehid sehingga menimbulkan aroma yang lebih *fruity* (Wang, 2012). Kadar kafein pada kopi Arabika lebih rendah dibanding dengan kopi Robusta, yakni sekitar 1,2 % (Spillane, 1990).

b. Kopi Robusta (*Coffea robusta*)

Kopi Robusta berasal dari daerah Afrika yang tersebar pada pantai barat Uganda. Kopi jenis ini tumbuh dengan baik pada ketinggian 2.500 meter di atas permukaan laut. Kopi Robusta telah banyak tersebar di wilayah Filipina dan juga Indonesia. Tanaman kopi Robusta memiliki ciri-ciri diantaranya tinggi pohon mencapai 5 m, batang tegak dan berwarna putih keabu-abuan (Aak, 2006).

Seduhan dari kopi Robusta mempunyai aroma dan rasa yang khas seperti coklat. Tekstur pada bubuk kopi robusta lebih kasar daripada kopi arabika. Selain kandungan kafein yang lebih tinggi dan aroma yang khas, tanaman kopi jenis Robusta juga lebih tahan terhadap hama penyakit dan lebih banyak berproduksi dibanding kopi Arabika (Aak, 2006).

c. Kopi Liberika (*Coffea liberica*)

Kopi Liberika tumbuh dengan baik di dataran rendah dekat Monrovia di Liberia, namun penyebaran kopi liberika khususnya pada daerah Afrika Barat hanya berlangsung dalam kurun waktu yang singkat. Jenis kopi ini cocok ditanam pada daerah dataran rendah yang mempunyai iklim panas dan basah dan tidak memerlukan perawatan yang istimewa (Rahardjo, 2012).

2.1.3 Kopi Robusta di Indonesia

Kopi Robusta (*Coffea canephora var robusta*) sejak tahun 1900 telah masuk ke Indonesia. Luas areal perkebunan kopi Robusta di Indonesia saat ini sudah lebih dari 90%. Areal perkebunan kopi Robusta hampir tersebar hampir di seluruh

kepulauan Indonesia, yakni Sumatera sekitar 777,037 ribu hektar (67%), Jawa (12%), Nusa Tenggara dan Bali (8%) dan sisanya terdapat di Kalimantan (4%), Sulawesi (7%) dan Maluku/Papua (1%) (Ditjenbun, 2014).

2.1.4 Kopi Robusta Jember

Menurut data statistik Kementrian Pertanian Indonesia tahun 2011, Jember merupakan daerah yang berada pada ketinggian antara 0 – 3.330 meter di atas permukaan laut dan memiliki luas perkebunan kopi mencapai 49.565 Ha. Perkebunan rakyat di Kabupaten Jember mayoritas membudidayakan kopi Robusta. Perkebunan kopi rakyat Jember tersebar di beberapa kecamatan antara lain kecamatan Ledokombo, Sumberjambe, Jelbuk, Silo, Panti, Tanggul, Sumberbaru, dan Sukorambi. Daerah tersebut merupakan sentra produksi kopi Robusta di kabupaten Jember (Haryati, 2008).

Tabel 2.1 Data Perkembangan Luas Area dan Produksi perkebunan kopi Jember

Keterangan	Tahun				
	2012	2013	2015	2016	2017
Luas Area (Ha)	6.022	6.335	6.343	6.507	7.329
Produksi (Ton)	3.095	3.209	3.357	1.880	3.178

Sumber: BPS Provinsi Jawa Timur, 2017

Produksi kopi di kabupaten Jember sebagian besar dikuasai oleh petani atau biasa disebut dengan kopi rakyat. Kopi rakyat di kabupaten Jember memiliki kualitas yang baik dan sesuai standar ekspor sehingga dapat dipasarkan ke luar negeri. Peningkatan kualitas kopi rakyat jember perlu ditingkatkan agar tidak tersaingi dengan produk lain, sehingga perlu dilakukan uji kualitas mutu kopi.

2.2 Kandungan pada Kopi

Citarasa kopi mulai terbentuk setelah biji kopi disangrai, dimana selama proses penyangraian reaksi kimiawi yang terjadi sangat kompleks sehingga komponen kimiawi pembentuk karakter dari aroma kopi akan semakin khas. Senyawa volatil dan non volatil yang berkontribusi terhadap aroma kopi sampai saat ini telah terdeteksi \pm 1.000 senyawa dan masih banyak komponen lain yang belum terdeteksi (Suslick *et al.*, 2010). Kopi robusta mengandung beberapa senyawa non volatil seperti protein, karbohidrat, lemak, kafein dan polifenol.

Senyawa volatil yang terkandung dalam kopi umumnya dari gugus pirazin, keton, furan, aldehid, alkohol, benzena, piridin, amina, ester, asam organik, thiazol, dan sulfur. Beberapa komponen volatil yang berpengaruh terhadap aroma dan citarasa kopi pada saat penyeduhan tertera pada tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 Beberapa senyawa volatil pada aroma kopi saat proses penyeduhan

Senyawa	Konsentrasi (mg) penyeduhan	Aroma
4-Hidroksi-2,5-dimetil-3(2H)-furanon	7,2	<i>Caramel-like</i>
2,3-Butanadiol (diasetil)	3,1	<i>Buttery</i>
2,3-Pentanadion	1,6	<i>Buttery</i>
2-Metilbutanal	0,9	<i>Malty, Sweety</i>
2-Etil-4-hidroksi-5-metil-3(2H)-furanon	0,8	<i>Caramel-like</i>
Metilpropanal	0,8	<i>Malty, fruity</i>
3-Metilbutanal	0,6	<i>Malty, fruity</i>
Vanilin	0,2	<i>Sweet (Vanila)</i>
2-Etil-3,5-dimetilpirazin	0,017	<i>Earthy, Roasty</i>
2,3-dietil-5-metilpirazin	0,0036	<i>Earthy, Roasty</i>
3-Isobutil-2-metokspirazin	0,0015	<i>Earthy, Roasty</i>
Metanatiol	0,170	<i>Sulfury</i>
2-furfuriltiol	0,017	<i>Roasty (coffee)</i>
3-mercapto-3-metil-butyl format	0,0057	<i>Catty, Roasty</i>
2-metil-3-furan-tiol	0,0011	<i>Meaty</i>
3-metil-2-buten-1-tiol	0,0006	<i>Sulfurous, amine-like</i>
Asetaldehid	4,7	<i>Fruity, Winey</i>
β -Damascenon	0,0016	<i>Fruity, honey-like</i>
3-Hidroksi-4,5-dimetil-2-furanon	0,08	<i>Spicy</i>

Sumber: Janzen, 2013

2.3 Sensor Gas

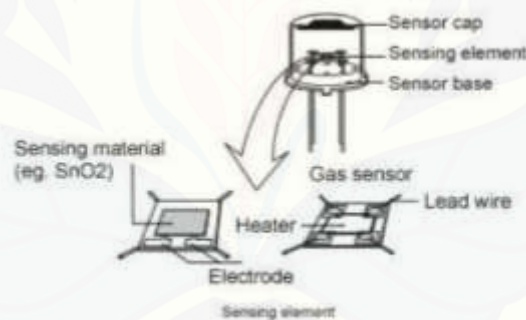
2.3.1 Definisi Sensor Gas

Sensor gas adalah alat yang dapat mendeteksi keberadaan gas. Alat ini akan menghasilkan sinyal listrik yang besarnya sebanding dengan konsentrasi gas. Beberapa teknologi sensor gas telah dikembangkan saat ini antara lain sensor elektrokimia, infra merah, katalitik dan *solid-state* (Asrorudin, 2009).

Sensor *solid-state* menggunakan satu atau lebih oksida logam semikonduktor sebagai elemen sensornya sehingga jenis sensor ini dikenal sebagai sensor gas semikonduktor. Beberapa kelebihan sensor *solid-state* diantaranya yaitu ukurannya yang dapat dibuat sangat kecil (nano film dan kawat nano), relatif

murah, dan reaktifitas yang tinggi sehingga sangat sensitif dalam mendeteksi gas (Partridge, 2007). Oksida logam semikonduktor digunakan baik dalam bentuk oksida logam tunggal, seperti timah oksida (SnO_2), Seng oksida (ZnO_2), titanium oksida (TiO_2), dan besi oksida (Fe_2O_3) (Asrorudin, 2009).

Keberadaan gas akan teradsorpsi pada permukaan elemen sensor (oksida logam) yang selanjutnya terdisosiasi menjadi ion bermuatan, sehingga terjadi transfer elektron dan perubahan konduktivitas pada material sensor yang akan dibaca oleh elektroda sebagai sinyal. Seiring dengan hilangnya gas, elemen sensor akan berubah ke kondisi semula tanpa ada bagian material sensor yang hilang atau habis selama proses tersebut berlangsung. Hal inilah yang menjadi keunggulan lain dari sensor ini, yakni waktu hidup sensor yang lebih lama. Pemanas (*heater*) dalam sistem sensor ini berguna untuk mendapatkan suhu optimal dari oksida logam untuk mendeteksi keberadaan gas namun tidak merusak material (Asrorudin, 2009). Komponen penyusun sensor gas dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

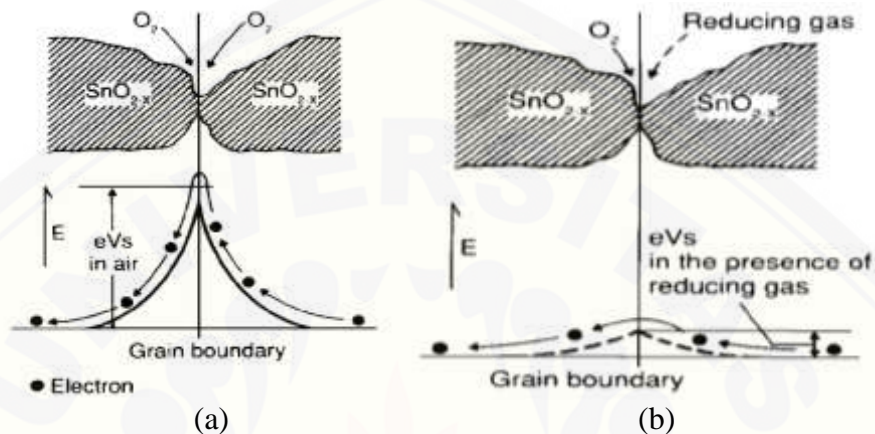


Gambar 2.1 Komponen penyusun sensor gas (Rabersyah *et al.*, 2016)

2.3.2 Prinsip Kerja

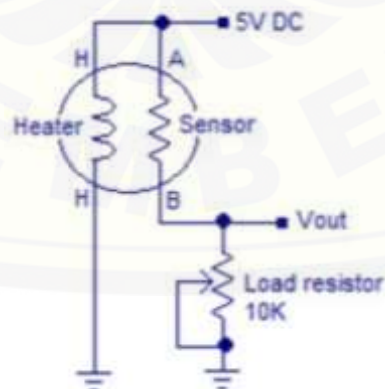
Menurut *datasheet* dari *Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd* Oksida logam yang digunakan sebagai elemen detector dari sensor gas adalah timah oksida (SnO_2). Kristal SnO_2 apabila dipanaskan pada suhu tertentu, oksigen akan teradsorpsi pada permukaan kristal dengan muatan negatif. Elektron-elektron donor pada permukaan kristal ditransfer ke oksigen teradsorpsi sehingga akan terbentuk potensial pada permukaan sensor yang akan menghambat aliran elektron. Arus listrik didalam sensor mengalir melalui bagian penghubung kristal SnO_2 . Oksigen teradsorpsi membentuk penghalang potensial yang menghambat muatan bebas bergerak sehingga tahanan pada sensor meningkat. Gambar 2.2 (a) menunjukkan

model penghalang potensial ketika dalam keadaan udara bebas (tanpa ada gas yang dideteksi) (Setiadi, 2010). Adanya gas yang terdeteksi oleh sensor menyebabkan kerapatan oksigen teradsorpsi yang bermuatan negative pada permukaan sensor menjadi berkurang, sehingga ketinggian penghalang akan berkurang. Ketinggian penghalang yang berkurang menyebabkan berkurangnya tahanan sensor.



Gambar 2.2 Model penghalang potensial penghalang (a) pada keadaan tanpa gas (udara bebas), (b) pada keadaan ada gas target (Setiadi, 2010)

Sensor gas jenis MQ ini memiliki konduktivitas yang rendah apabila di udara bersih, dimana ketika sensor mendeteksi gas target maka konduktivitas sensor akan semakin tinggi seiring dengan meningkatnya konsentrasi gas. Perubahan konduktivitas dari sensor dapat dikonversi untuk menyesuaikan sinyal keluaran melalui rangkaian sederhana.



Gambar 2.3 Rangkaian dasar sensor gas (www.winsen-sensor.com, 2015)

Gambar diatas merupakan rangkaian dari sirkuit dasar sensor MQ-135. Skema rangkaian sensor gas dapat dijelaskan menggunakan prinsip rangkaian pembagi tegangan seperti gambar 2.2. Hambatan total sensor (R_S) dan hambatan beban (R_L) tersusun secara seri. Rangkaian apabila diberi tegangan V_C maka ruang pemanas pada sensor akan aktif dan bereaksi dengan gas target sehingga nilai hambatan pemanas (R_H) berkurang. Berkurangnya nilai R_H akan mengakibatkan nilai R_S juga berkurang secara keseluruhan, yang selanjutnya akan mengakibatkan nilai V_{RL} bertambah. Nilai keluaran V_{RL} selanjutnya akan dibaca sebagai tegangan keluaran sensor yang bergantung pada besarnya perubahan pada R_S dan dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$V_{RL} = \left(\frac{R_L}{R_L + R_S} \right) V_C \quad (2.1)$$

dimana, V_{RL} = Tegangan output (Volt)

R_L = Hambatan beban (Ohm)

R_S = Hambatan sensor (Ohm)

V_C = Tegangan sumber (Volt)

2.3.3 Jenis Sensor

Sensor gas MQ merupakan sensor gas yang diproduksi oleh Zhengzhou Winsen Electronics Technology CO., LTD. Sensor MQ memiliki berbagai jenis tipe, setiap tipe dari sensor tersebut dibuat secara khusus untuk mendeteksi gas tertentu. Berikut ini merupakan sensor gas yang digunakan pada penelitian.

Tabel 2.3 Tipe sensor gas dan gas yang direspon

Tipe sensor	Gas Target	Range Deteksi
MQ-2	Propana, <i>smoke</i> dan <i>flammable gas</i>	300-10000 ppm <i>flammable gas</i>
MQ-3	Gas alcohol	20-500 ppm gas alcohol
MQ-6	LPG (propana)	300-100000 ppm propana
MQ-7	Gas CO	10-500 ppm gas CO
MQ-135	Gas ammonia, sulfida dan benzena	10-1000 ppm gas ammonia, toluena, hidrogen dan <i>smoke</i>

Sumber: www.winsen-sensor.com, 2015

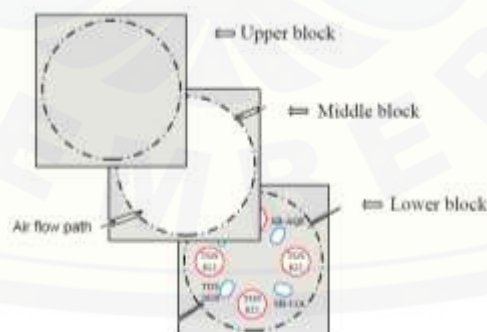
2.4 Sensor Array

2.4.1 Definisi

Sensor array secara umum diartikan sebagai sejumlah sensor gas yang disusun menurut aturan tertentu. Sejumlah sensor yang digunakan dalam sensor array ini memiliki sensitivitas yang berbeda-beda. Sensor gas array dapat digunakan untuk mengetahui informasi kimia yang terdapat dalam sampel gas dengan cara mengkonversinya menjadi sinyal yang dapat terukur. Sensor dalam array tersebut dapat diakses secara individual ataupun secara bersamaan pada alat yang digunakan (Jati dan Lelono, 2013).

2.4.2 Desain Sensor Array

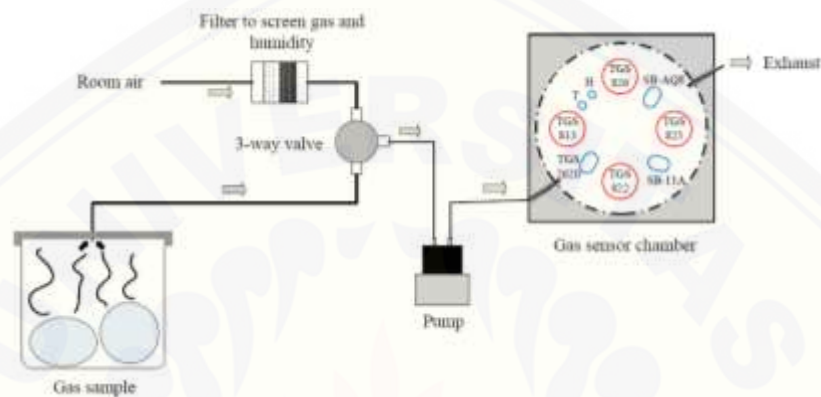
Performa dari sistem *electronic nose* salah satunya dipengaruhi oleh peletakkan sensor-sensor yang berada di dalam chamber sensor yang membentuk larik sensor. Larik sensor ini terdiri dari beberapa sensor gas dengan sensitifitas berbeda-beda terhadap suatu bahan kimia tertentu (Sagita, 2015). Desain sensor array yang digunakan pada penelitian Konduru *et al.* (2015) menggunakan bahan teflon berbentuk kubus dengan ukuran $132 \times 132 \times 19,8$ mm sebagai chamber untuk meletakkan sensor array. Chamber tersebut dipotong menjadi tiga bagian, bagian bawah teflon diberi lubang untuk meletakkan sensor gas tunggal. Bagian tengah diberi lubang melingkar dengan diameter 112 mm sebagai ruang untuk gas agar terdeteksi dengan sensor.



Gambar 2.4 Skema pembuatan ruang sensor gas (Konduru *et al.*, 2015)

Desain mekanik dari percobaan Konduru *et al.* (2015) ini adalah sampel gas yang berada dalam chamber ditarik menggunakan pompa yang dioperasikan pada 12 VDC menuju ke gas sensor chamber. Sampel gas sebelum memasuki ruang

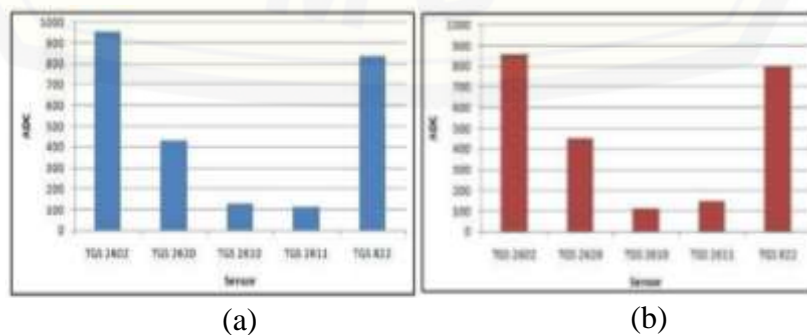
sensor terlebih dahulu melewati sebuah katub tiga arah, dimana udara bebas dapat masuk ke dalam sistem melewati filter untuk meminimalisir gangguan gas lain dan akan bergabung dengan sampel gas melewati katub menuju ke ruang sensor dengan ditarik oleh pompa. Diameter tubing pada chamber sensor yang dipakai adalah sebesar 4,74 mm. Skematik diagram dari desain mekanik percobaan Konduru *et al.* (2015) dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.5 Desain Sistem Gas Sensor Array (Konduru *et al.*, 2015)

2.4.3 Aplikasi Sensor Gas Array untuk Kopi

Penelitian mengenai sensor gas untuk mendeteksi aroma kopi di Indonesia telah dilakukan oleh Rabersyah *et al.* (2016). Penelitian tersebut dilakukan untuk mengidentifikasi serta membedakan jenis bubuk kopi Arabika, Robusta dan tanpa menggunakan bubuk kopi (udara bebas). Penelitian ini menggunakan *electronic nose* yang terdiri dari lima jenis sensor gas TGS produksi Figaro Inc yang disusun secara array. Hasil dari penelitian Rabersyah *et al.* (2016) ini berhasil membedakan jenis kopi Robusta, Arabika, dan juga pada udara bebas dengan tingkat keberhasilan 100% untuk kopi Robusta, 40% untuk Arabika.



Gambar 2.6 Pola respon sensor array (a) kopi Arabika; (b) kopi Robusta (Rabersyah *et al.*, 2016)

Hasil penelitian Rabersyah *et al.* (2016) diatas menunjukkan kandungan gas H₂S (Hidrogen Sulfida) dan Karbon monoksida (CO) pada bubuk kopi arabika lebih tinggi dibandingkan bubuk kopi robusta, sedangkan kandungan Alkohol pada kopi Arabika lebih rendah dibandingkan bubuk kopi robusta (Rabersyah *et al.*, 2016).

Penelitian mengenai sensor gas untuk mendeteksi aroma kopi di Indonesia juga telah dilakukan oleh Susanti *et al.* (2018). Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi aroma dari campuran bubuk kopi Robusta, Arabika, dan aroma tanpa bubuk kopi (udara bebas) menggunakan beberapa sensor gas yang disusun array. Pola data yang didapatkan dari respon sensor gas tersebut di monitoring pada *software LabVIEW* dari *National Instrumentation* dan identifikasi aroma kopi menggunakan *software Matlab* dengan prinsip metode backpropagasi. Hasil penelitian dari Susanti dkk. (2018) dapat dilihat pada gambar 2.9 dibawah ini:

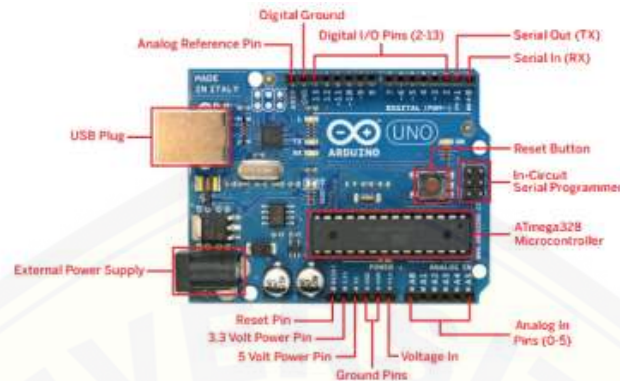


Gambar 2.7 Respon gas sensor array (a) aroma campuran kopi Arabika dan Robusta; (b) udara bebas (tanpa kopi) (Susanti *et al.*, 2018)

2.5 Arduino

Arduino merupakan suatu instrumen yang terdiri dari papan sirkuit dengan chip yang dapat diprogram untuk melakukan sejumlah tugas dengan mengirimkan informasi dari program komputer ke Mikrokontroler Arduino melewati berbagai sirkuit tertentu untuk melaksanakan perintah spesifik. Arduino dapat membantu membaca informasi dari perangkat input, misalnya sensor dan lain-lain (Badamasi, 2014). Penelitian Rosyad dan Lenono (2016) mengenai klasifikasi kemurnian daging sapi berbasis electronic nose menggunakan mikrokontroler Arduino mega 2560 sebagai rangkaian elektronik yang didalamnya terdapat ADC (analog digital converter). ADC ini berfungsi untuk mengubah sinyal analog yang dikirimkan oleh

sensor menjadi sinyal digital yang akan dibaca oleh mikrokontroller sebagai nilai tegangan (Lintang *et al.*, 2016).



Gambar 2.8 Label Arduino UNO (Badamasi, 2014)

2.6 Software yang Digunakan dalam *Electronic Nose*

2.6.1 LabVIEW

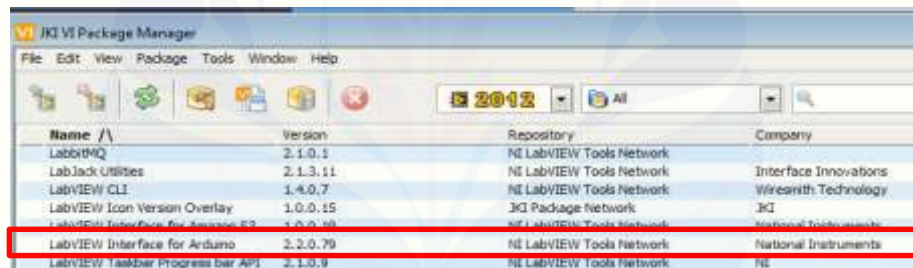
LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) merupakan pemrograman grafis yang digunakan untuk kontrol instrumen dan akuisisi data. *LabVIEW* berisi seperangkat alat untuk menganalisis, memperoleh, menampilkan dan menyimpan data, serta alat-alat untuk membantu memecahkan kode program (Miswar, 2017) Penelitian konduru *et al.* (2015) menggunakan program *LabVIEW* untuk perantara komunikasi antara pengguna dan perangkat (pemrosesan data dan tampilan). Perangkat lunak ini dirancang agar pengguna dapat dengan mudah mengkonfigurasi perangkat seperti untuk menyingkronkan waktu pada PC saat pengambilan data dan lain-lain (Konduru *et al.*, 2015). Gambar dibawah ini menunjukkan tampilan menu awal saat perangkat lunak *LabVIEW* dijalankan.



Gambar 2.9 Tampilan utama perangkat lunak LABVIEW

2.6.2 VISA

Virtual Instrument Software Architecture (VISA) merupakan standar untuk pemrograman, konfigurasi dan sistem pemecahan masalah instrumentasi. VISA menyediakan antarmuka pemrograman antara *hardware* dan pengembangan lingkungan seperti *LabVIEW* dan lain-lain. Antar muka *LabVIEW* dengan *hardware* dapat dilakukan dengan melakukan komunikasi serial menggunakan *NI Max* (Wijaya, 2015). Salah satu komponen VISA yang sering digunakan adalah Visa Configurasi Serial Port yang digunakan untuk mengatur settingan komunikasi serial awal sebelum komunikasi dilangsungkan, termasuk saluran yang digunakan (*VISA Resource Name*) (Miswar, 2017). Tahapan penggunaan antarmuka antara *LabVIEW* dengan *hardware* yang menggunakan VISA dilakukan dengan menginstall *VI package manager*, kemudian *LabVIEW* antarmuka untuk Arduino dapat ditemukan pada pilihan item untuk diinstall seperti tampak pada gambar berikut ini (Wijaya, 2015).



Gambar 2.10 *LabVIEW Interface For Arduino* pada VI package manager

2.7 Teknik Preparasi Sampel Kopi

2.7.1 Penyangraian (*Roasting*)

- Light Roast* (suhu 190-205°C), dimana kopi yang diroasting pada tingkatan ini memiliki keasaman dan kandungan kafein yang tinggi.
- Medium Roast* (Sangrai sedang, suhu 210-220°C), dimana citarasa kopi yang dihasilkan pada tingkatan ini terasa manis dan aroma yang tercium sangat tajam. *Medium roasting* merupakan tingkatan roasting yang paling banyak digunakan karena selain menghasilkan kandungan kafein yang lebih rendah juga menghasilkan kopi yang *balance* pada aroma, keasaman dan juga menghasilkan banyak rasa.

- c. *Dark Roast* (sangrai hitam, suhu diatas 205°C), merupakan tingkatan paling matang pada proses sangrai kopi. Citarasa kopi akan cenderung pahit dan menutupi rasa khas apabila melebihi tingkatan ini.

(Affriliana, 2018).

2.7.2 Penyeduhan

Penyeduhan bubuk kopi yang dilakukan oleh Asiah *et al.* (2017) dengan menggunakan rasio kopi 1:15 dimana 10 gram kopi dalam 150 ml air. Air yang digunakan harus bersih, tidak berbau dan tidak air terdestilasi. Prinsip penyeduhan dilakukan dengan cara menuangkan air panas ke dalam bubuk kopi sehingga terjadi proses ekstraksi komponen kimia dalam bubuk kopi. Kopi sebelum dikonsumsi harus ditunggu beberapa saat hingga ampas kopi mengendap seluruhnya.

Faktor yang perlu dijustifikasi untuk mendapatkan hasil seduhan yang optimal pada proses penyeduhan kopi adalah tingkat kehalusan pada bubuk kopi. Semakin kecil ukuran bubuk kopi maka kopi akan terekstrak lebih maksimal, namun demikian proses tersebut akan menghasilkan rasa yang lebih pahit dan sepat. Butiran kopi bubuk mempunyai luas permukaan yang besar sehingga senyawa pembentuk aroma dan cita rasa mudah larut dalam air panas (Asiah *et al.*, 2017). Selain ukuran partikel, suhu penyeduhan juga merupakan faktor penting yang akan mempengaruhi cita rasa sajian kopi, persyaratan teknis minimum untuk penerima minuman atau konsumen adalah tidak kurang dari 80°C, dan tidak lebih dari 85°C. Suhu yang ideal untuk penyajian kopi adalah pada 62,8 s/d 68,3°C (Asiah *et al.*, 2017).

2.8 Analisis Hasil Pengukuran

2.8.1 Repeatability

Keterulangan atau *repeatability* adalah keseksamaan metode jika dilakukan berulang kali oleh analisis yang sama pada kondisi sama dan dalam interval waktu yang pendek (Hermita, 2004). Menurut Lintang *et al.* (2016) uji *repeatability* dilakukan untuk mengetahui tingkat presisi respon sensor *e-nose* dalam melakukan pengulangan terhadap pengujian sampel. *Repeatability e-nose* didapatkan dengan menghitung nilai *Relative Standart Deviation* (RSD), dimana semakin kecil nilai

RSD maka semakin tinggi repeatability nya. Nilai RSD dari masing-masing sensor dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad 2.2$$

$$RSD = \left[\frac{SD}{\bar{x}} \right] \times 100\% \quad 2.3$$

Dimana: SD = standar deviasi, X_i = tegangan yang dihasilkan, \bar{X} = tegangan rata-rata, n = jumlah pengulangan, RSD = *Relative Standart Deviation* (Miller dan Miller, 1991).

2.8.2 Reproducibility

Reproducibility atau ketertiruan adalah keseksamaan metode jika dikerjakan pada kondisi yang berbeda. Analisis untuk uji reproducibility biasanya dilakukan dalam laboratorium berbeda menggunakan peralatan, pereaksi, dan pelarut yang berbeda pula dengan sampel yang sama (Hermita, 2004). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Mamat *et al.* (2011) mengenai pengukuran menggunakan *electronic nose* menghasilkan nilai RSD sebesar 20% dan menyatakan bahwa *electronic nose* relatif baik digunakan.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Penelitian ini berlangsung selama 4 bulan, yakni bulan Januari 2018- April 2019.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

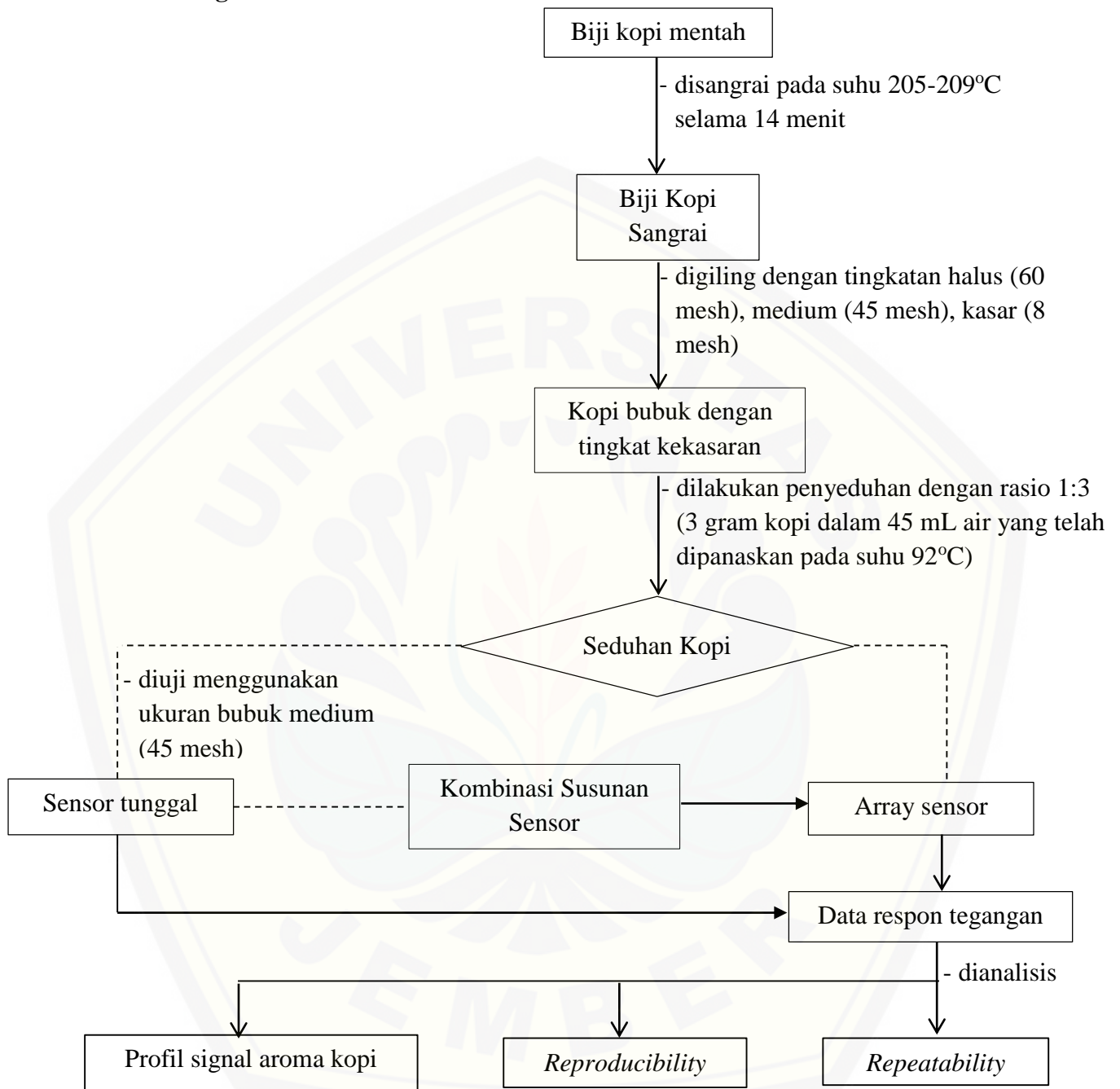
3.2.1 Alat

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian antara lain *coffee grinder*, toples kaca, neraca analitik, *hot plate*, termometer, akrilik yang telah didesain sebagai wadah meletakkan sensor, pipa PTFE, *Beaker glass*, Erlenmeyer, sensor gas MQ-2, MQ-3, MQ-6, MQ-7, MQ-135 produksi Zhengzhou Winsen Electronics Technology CO., LTD, Arduino UNO, modul Arduino Uno, pompa akuarium, kabel USB, kabel pelangi, *breadboard*, Laptop Acer yang terinstall software *LabView*, Ni-Visa, dan VIPM untuk menjalankan arduino sehingga diperoleh output data.

3.2.2 Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini berupa biji mentah kopi *robusta* Argopuro olah kering yang berasal dari perkebunan Durjo, desa Karangpring kecamatan Sukorambi Jember dan air mineral merk Aqua.

3.3 Diagram Alir Penelitian

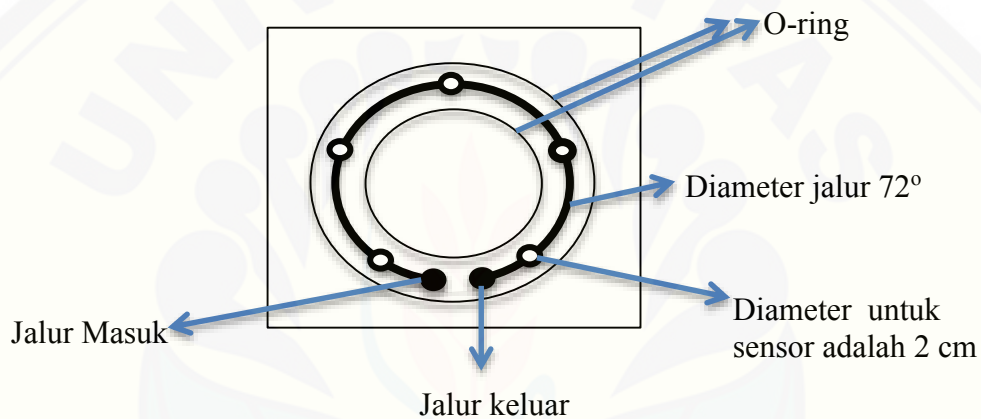


Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.4 Prosedur Kerja

3.4.1 Rancangan Penyusunan Sensor

Lima sensor gas MQ (MQ-2, MQ-3, MQ-6, MQ-7, dan MQ-135) disusun pada wadah yang terbuat dari material akrilik dengan susunan melingkar dan diberi jarak 72° tiap sensornya. Diameter lubang untuk tiap sensor sebesar 2 cm. Gas yang dihasilkan dari sampel seduh kopi akan masuk ke dalam wadah sensor melalui jalur masuk kemudian bergerak melewati permukaan tiap sensor dan keluar melalui jalur keluar. Desain rancangan penyusunan sensor dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini.



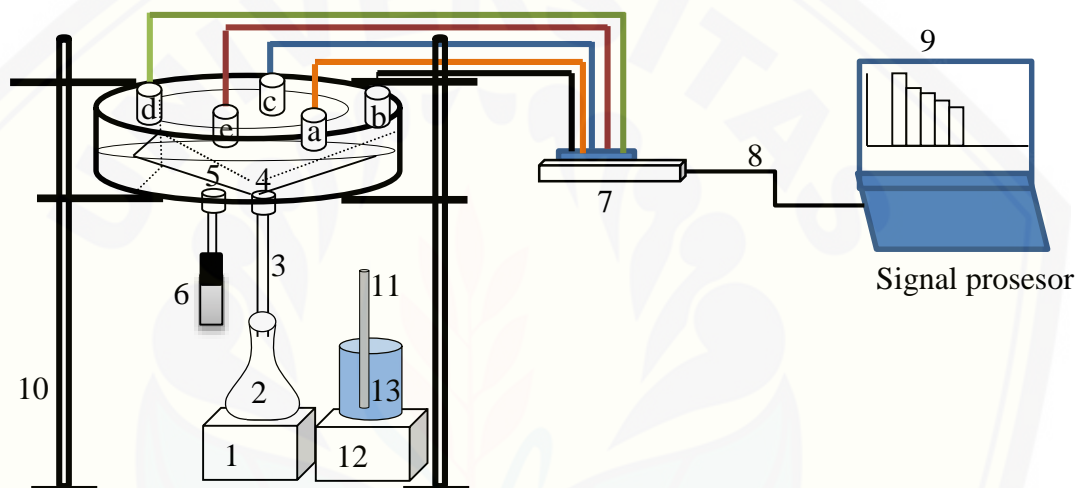
Gambar 3.2 Rancangan penyusunan sensor

3.4.2 Desain Susunan Alat

Desain susunan alat untuk penelitian ini terdiri dari erlenmeyer sebagai wadah sampel kopi seduh dan wadah yang terbuat dari material akrilik untuk menempatkan sensor. Lima sensor disusun sesuai gambar 3.2 dan dihubungkan dengan Arduino UNO, kemudian dihubungkan ke personal computer yang telah terinstall software LabVIEW dengan menggunakan kabel USB. Wadah sampel di letakkan di atas *hot plate* dan dihubungkan secara langsung dengan wadah sensor menggunakan pipa. Gas yang terbentuk dalam erlenmeyer kemudian ditarik oleh pompa melewati pipa dan mengalir menuju ruang sensor.

Sensor array yang telah disusun akan terus memonitoring aroma yang dihasilkan oleh sampel sehingga didapatkan sinyal tertentu dari setiap sensor. Sinyal yang dihasilkan oleh sensor berupa sinyal analog. Sinyal analog tersebut

kemudian dikirimkan ke Mikrokontroler pada Arduino UNO. ADC (*Analog Digital Converter*) pada mikrokontroler akan merubah sinyal analog yang dikirimkan dari sensor menjadi sinyal digital. Mikrokontroler kemudian akan membaca nilai output dari sensor berupa data tegangan kemudian dikirimkan ke personal computer melalui *port USB*. Data tegangan yang diterima akan ditampilkan dalam bentuk grafik (tegangan vs waktu) pada LabVIEW yang kemudian akan disimpan pada aplikasi *microsoft excel*. Desain alat untuk penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3.3 Desain alat untuk percobaan

Keterangan:

- | | |
|------------------------------|-----------------|
| 1=Stirrer | 10=statif |
| 2=chamber sampel | 11=Termometer |
| 3=pipa penghubung | 12=Heater |
| 4=jalur masuk gas | 13=Beaker glass |
| 5=jalur keluar gas | a=sensor MQ-135 |
| 6=vacuum penarik gas | b=sensor MQ-2 |
| 7=mikrokontroler Arduino UNO | c= sensor MQ-3 |
| 8=Port USB | d= sensor MQ-6 |
| 9=PC | e= sensor MQ-7 |

kopi dilakukan secara bergantian. Bubuk kopi sangrai hasil penggilingan pada masing-masing tingkat kehalusan tersebut disimpan dalam gelas kaca yang ditutup rapat.

b. Persiapan sampel

Identifikasi aroma untuk masing-masing bubuk kopi dengan 3 variasi ukuran partikel bubuk kopi yang berbeda diperlakukan dengan cara diseduh. Bubuk kopi dengan tingkat kekasaran berbeda masing-masing 3 gram di masukkan ke dalam wadah sampel kemudian diseduh dengan dengan 15 mL air yang telah dipanaskan pada suhu 92°C. Sampel seduh kopi kemudian ditutup rapat dan dibiarkan gas mengalir ke wadah sensor (ditarik dengan pompa) untuk diidentifikasi.

3.4.4 Pengambilan dan pengolahan data

a. Uji Kestabilan sensor

Uji kestabilan sensor array dilakukan sebelum pengambilan data untuk sampel uji. Uji ini dilakukan dengan mengalirkan udara bersih (tanpa sampel) pada suhu ruang, dimana wadah sampel dibiarkan kosong sehingga udara bersih (tanpa sampel) tersebut akan mengalir dan terdeteksi oleh sensor.

b. Pengujian sampel

Pengukuran aroma kopi dilakukan dengan mengukur nilai *repeatability* dan juga *reproducibility* dari sensor. Pengukuran *repeatability* dilakukan dengan menguji masing-masing 5 sensor tunggal dengan 5 kali pengulangan dalam satu hari menggunakan bubuk kopi dengan ukuran partikel medium (<45 mesh). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kepresisian data respon tegangan yang dihasilkan oleh masing-masing sensor.

Pengukuran selanjutnya dilakukan dengan sensor array, dimana sensor array ini diuji menggunakan sampel seduh kopi dengan variasi ukuran partikel bubuk kopi yakni halus (60 mesh), medium (45 mesh), dan kasar (60 mesh) selama 2 bulan setiap 2 minggu sekali dalam empat kali pengulangan untuk uji *reproducibility* sensor array. Uji *repeatability* sensor array dilakukan dengan 5 kali pengulangan pada setiap pengukuran dalam jangka waktu sehari. Penyusunan sensor array ini disusun berdasarkan acuan dari Ramadhani (2019) yang meneliti

aroma kopi Robusta Sidomulyo dengan menggunakan 5 jenis sensor MQ yang sama. Nilai respon yang dihasilkan dari sensor array untuk masing-masing variasi ukuran partikel bubuk kopi digunakan sebagai acuan untuk menentukan kinerja sensor array berdasarkan *reproducibility* dan *repeatability* nya. *Repeatability* dan *reproducibility* sensor didapat dari nilai *Relative Standart Deviation* dibawah ini:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{n-1}} \quad (3.1)$$

$$\%RSD = \frac{SD}{X} \times 100\% \quad (3.2)$$

Keterangan:

SD = standar deviasi

RSD = *Relative Standart Deviation*

X_i = nilai tegangan ke-i

X = nilai tegangan rata-rata keseluruhan

n = jumlah data

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Respon tegangan yang dihasilkan ketika sensor disusun tunggal dan array memiliki perbedaan dimana sensor MQ-135, MQ-2, MQ-3 dan MQ-7 memiliki respon yang lebih tinggi ketika disusun tunggal dan sensor MQ-6 memiliki respon yang sedikit lebih tinggi ketika disusun array.
2. Ukuran bubuk kopi tidak berpengaruh terhadap pola respon yang dihasilkan oleh *gas sensor array*, akan tetapi hanya berpengaruh terhadap besarnya nilai respon yang dihasilkan dimana intensitas respon dari yang tertinggi ke terendah berturut-turut dimiliki oleh ukuran bubuk halus (<60 mesh), medium (<45 mesh), dan kasar (8-16 mesh).
3. Kinerja *gas sensor array* dalam karakterisasi aroma kopi Robusta Argopuro relatif baik digunakan yang ditunjukkan dengan nilai RSD pada repeatability dan reproducibility yang kurang dari 20% serta tidak terdapat perubahan pola selama empat kali pengulangan dalam jangka waktu 2 bulan. Hal tersebut dibuktikan dengan *ANOVA single factor* dimana $f_{hitung} < f_{tabel}$ yang menunjukkan tidak terdapat perbedaan pola respon yang signifikan selama empat kali pengulangan.

5.2 Saran

Berdasarkan pengamatan terhadap hasil yang diperoleh, perlu dilakukan pengujian atau sensing untuk uap air yang dapat dijadikan sebagai *baseline*, kondisi chamber kopi harus dikondisikan seragam terutama temperatur dan kelembabannya harus dikontrol karena sangat mempengaruhi kinerja sensor. Sensor setelah digunakan untuk menguji aroma kopi sebaiknya dilakukan regenerasi dengan mengalirkan uap air ke sensor dan juga penyimpanan sensor dilakukan dengan baik dan benar.

DAFTAR PUSTAKA

- Aak. 2006. *Budidaya Tanaman Kopi*. Yogyakarta: Kanisius.
- Affriliana, asmak. 2018. *Teknologi Pengolahan Kopi Terkini*. Yogyakarta: Deepublish.
- Asiah, N., Septiyana, F., Saptono, U., Cempaka, L., dan Sari, D.A. 2017. Identifikasi Cita Rasa Sajian Tubruk Kopirobusta Cibulao Pada Berbagai Suhu Dan Tingkat Kehalusan Penyeduhan. *Barometer*. 2(2):52–56.
- Asrorudin, Udin. 2009. *Pengembangan Sensor Gas Berbasis Timah Oksida (SnO₂)*. Jakarta: Warta Akab.
- Badamasi, Y. A. 2014. The Working Principle of an Arduino. *Proceedings of the 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation, ICECCO*. 2014.
- Badan Pusat Statistik. 2017. *Data Perkembangan Luas Area dan Produksi Perkebunan Kopi Jember*. Jember, Jawa Timur: BPS.
- Baggenstoss, Ju., Lu. Poisson, R. Kaegi, R. Perren, dan F. Escher. 2008. Coffee roasting and aroma formation: application of different time-temperature conditions. *Coffee science*. 20:5836–5846.
- Barbin, D. F., A. L. de S. M. Felicio, D. W. Sun, S. L. Nixdorf, dan E. Y. Hirooka. 2014. Application Of Infrared Spectral Techniques On Quality And Compositional Attributes Of Coffee: an overview. *Food Research International*. 61:23–32.
- Berna, A. 2010. Metal Oxide Sensors For Electronic Noses And Their Application To Food Analysis. *Sensors*. 10(4):3882–3910.
- Clarke, R.J dan Macrae, R. 1987. *Coffee Technology*. London: Elsevier Inc.

- Ditjenbun. 2014. *Pedoman Teknis Budidaya Kopi Yang Baik*. Jakarta: Kementerian Pertanian.
- Haryati, N. 2008. Kontribusi Komoditas Kopi Terhadap Perekonomian Wilayah Kabupaten Jember. *J-SEP*. 2(1):56–67.
- Hermita. 2004. Petunjuk Pelaksanaan Validasi Metode dan Cara Perhitungannya: Review Artikel. *Majalah Ilmu Kefarmasian*. 1(3): 117-135.
- Janzen, S Oestreich. 2013. *Chemistry Of Coffee*. Hamburg, Germany: Elsevier Inc.
- Jati, H. A. P. dan D. Lelono. 2013. Deteksi Dan Monitoring Polusi Udara Berbasis Array Sensor Gas. *Ijeis*. 3(2):2088–3714.
- Konduru, T., G. C. Rains, dan C. Li. 2015. A Customized Metal Oxide Semiconductor-Based Gas Sensor Array For Onion Quality Evaluation: System Development And Characterization. *Sensors (Switzerland)*. 15(1):1252–1273.
- Kusmiati, A. 2013. *Executive summary Kopi di ketinggian sedang*. Jember: Universitas Jember.
- Lintang, C. A., T. W. Widodo, dan D. Lelono. 2016. Rancang bangun electronic nose untuk mendeteksi tingkat kebusukan ikan air tawar. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*. 6(2):129.
- Mamat, Mazlina., Samad, Salina Abdul., Hannan, Muhammad A. 2011 An Electronic Nose for Reliable Measurement and Correct Classification of Beverages. *Sensors* 11(18):1424:8220.
- Miller, J.C. dan Miller, J.N. 1991. *Statistika untuk Kimia Analitik*. Bandung: Penerbit ITB.
- Miswar, Trisno. 2017. Aplikasi jaringan saraf tiruan untuk mendeteksi aroma hasil blending biji kopi: *Tugas Akhir. Padang: Universitas Sumatera Utara*.

- Muttalib, Surya Abdul., Nugroho, Joko., Bintoro, Nursigit. 2012. Identifikasi Aroma Campuran (*Blending*) Kopi Arabika dan Robusta dengan *Electronic Nose* Menggunakan Sistem Pengenalan Pola. *Prosiding Seminar Nasional PERTETA 2012*.
- Pardo, M., G. Niederjaufner, G. Benussi, E. Comini, G. Faglia, G. Sberveglieri, M. Holmberg, dan I. Lundstrom. 2000. Data preprocessing enhances the classification of different brands of espresso coffee with an electronic nose. *Sensors and actuators, B: Chemical*. 69(3):397–403.
- Partridge, James G., Field, Mathew R., Sadek, Abu Z. 2009. Fabrication, Structural Characterization and Testing of a Nanostructured Tin Oxide Gas. *IEEE Sensors Journal*. 5(9):563-568.
- Peris dan Esuder-Gilabert. 2009. A 21st Century Technique for Food Control: Electronic Noses. *Analitica Chimica Acta*. 638: 1-15.
- Persaud, Krishna dan Dodd, George. 1982. Analisis of Discrimination Mechanisms in The Mammalian Olfactory System Using a Model Nose. *Nature*. Vol. 299:352–355.
- Qi, Q., T. Zhang, X. Zheng, H. Fan, L. Liu, R. Wang, dan Y. Zeng. 2008. Electrical response of sm 2 o 3 -doped sno 2 to c 2 h 2 and effect of humidity interference. *Sensors and Actuators, B: Chemical*. 134(1):36–42.
- Rabersyah, D., Firdaus, dan Derisma. 2016. Identifikasi Jenis Bubuk Kopi Menggunakan Electronic Nose. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*.5(3):332–338.
- Rahardjo, Pudji. 2012. *Panduan Budidaya dan Pengolahan Kopi Arabika dan Robusta*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Ramadhani, Bella Ariwijayanti. 2019. Pengaruh Ukuran Partikel Bubuk Kopi Robusta Sidomulyo dan Karakterisasinya Berdasarkan Pola Respon Gas Sensor Array: *Tugas Akhir. Jember: Universitas Jember*.
- Ridwansyah. 2003. *Pengolahan Kopi*. Sumatera Utara: Universitas Sumatera Utara Digital Library.

- Rios, O. G., M. Barel, B. Guyot, J.-P. Guiraud, dan S. Schorr-Galindo. 2007. Impact of “ecological” post-harvest processing on coffee aroma: ii. Roasted coffee. *Journal of Food Composition and Analysis*. 20(3):297–307.
- Rodríguez, J., C. Durán, dan A. Reyes. 2010. Electronic Nose For Quality Control Of Colombian Coffee Through The Detection Of Defects In “Cup Tests”. *Sensors*. 10(1):36–46.
- Rosyad, F. dan D. Lenono. 2016. Klasifikasi Kemurnian Daging Sapi Berbasis Electronic Nose Dengan Metode Principal Component Analysis. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*. 6(1):47.
- Sagita, pulung, dan porwo. 2015. Chamber sensor electronic nose flow system. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Sari, Niken Puspitasari & Nugroho, Dwi. 2016. Condition of Soil Fertility and Sensory Profile of Smallholder Robusta Coffee in Jember District. *Pelita Perkebunan*. 32(2):181-191.
- Setiadi. 2010. Rancang Bangun Perangkat Sensor dengan Konfigurasi Array untuk Mencari Arah Sumber Gas: *Tugas Akhir*. Depok: Universitas Indonesia.
- Shilbayeh, N. F., M. Z. Iskandarani, P. O. Box, P. Code, P. O. Box, dan P. Code. 2004. Quality Control Of Coffee Using An Electronic Nose System Applied Science Department, Computer Science Department Applied Science University. *Computer Engineering Department*. 1(2):129–135.
- Spillane, James J. 1990. *Komoditi Kopi Peranannya dalam Perekonomian Indonesia*. Yogyakarta: Kanisius.
- Susanti, R., Z. R. Aidha, M. Yuliza, dan S. Yondri. 2018. Artificial Neural Network Application for Aroma Monitoring on the Coffee Beans Blending Process. *JOiv*. 2(3):147–152.
- Suslick, B. A., L. Feng, dan K. S. Suslick. 2010. Discrimination of Complex Mixtures by a Colorimetric Sensor Array: Coffee Aromas. *Analytical Chemistry*. 82(5):2067–2073.

Tian, X., J. Wang, dan S. Cui. 2013. Analysis Of Pork Adulteration In Minced Mutton Using Electronic Nose Of Metal Oxide Sensors. *Journal of Food Engineering*. 119(4):744–749.

Towaha, J., E. H. Purwanto, A. Aunillah, B. Penelitian, T. Industri, dan J. Raya. 2013. Peranan Pengolahan terhadap Pembentukan Citarasa Kopi. 157–168.

Wang, N. dan L.-T. Lim. 2012. Physicochemical Changes Of Coffee Beans During Roasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 60:5446–5453.

Wijaya, Y. P. 2015. Simulasi Pengendalian Volume Tangki Menggunakan Labview dan Arduino UNO. *Jurnal Sains Dan Teknologi Industri*. 13(1):79–82.

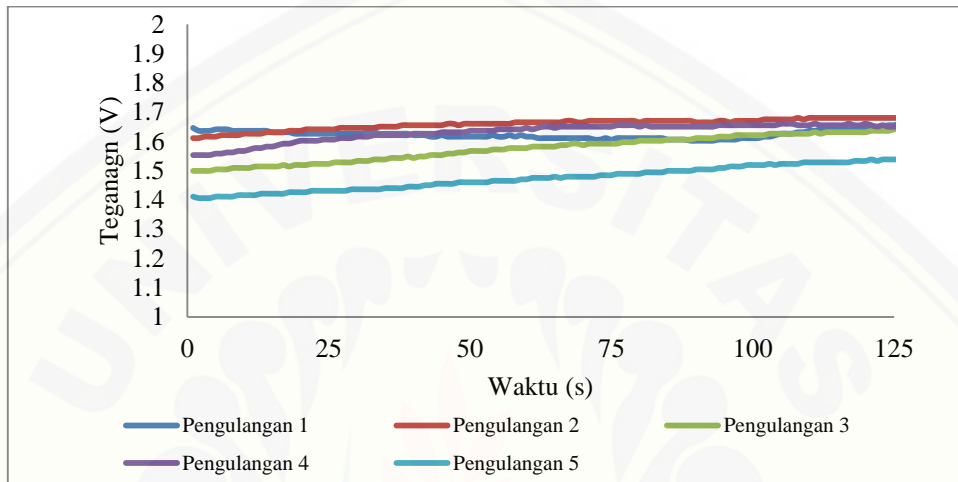
Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd. Product Information, (Online), (www.winsen-sensor.com) (diakses 30 April 2019).

LAMPIRAN

Lampiran 4.1 Perhitungan Keterulangan (*Repeatability*) Sensor Tunggal

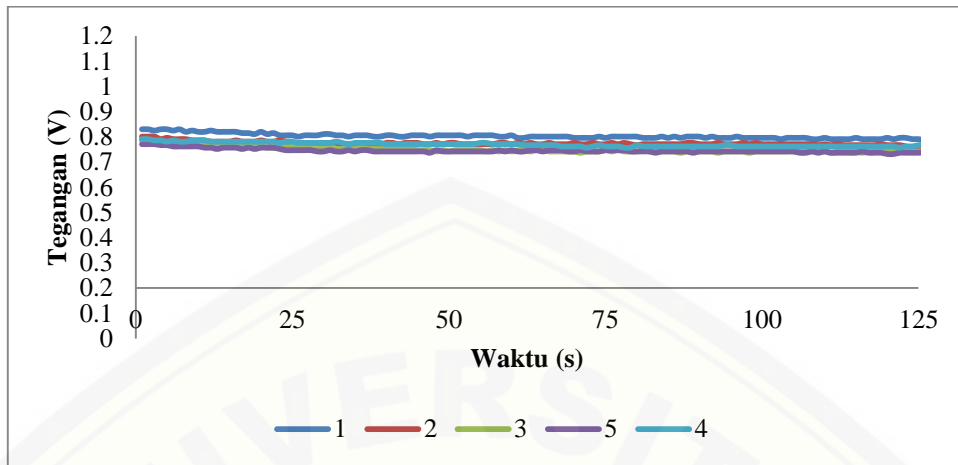
$$RSD = \frac{SD}{\bar{X}} \cdot 100 \%$$

a) Sensor gas MQ-135



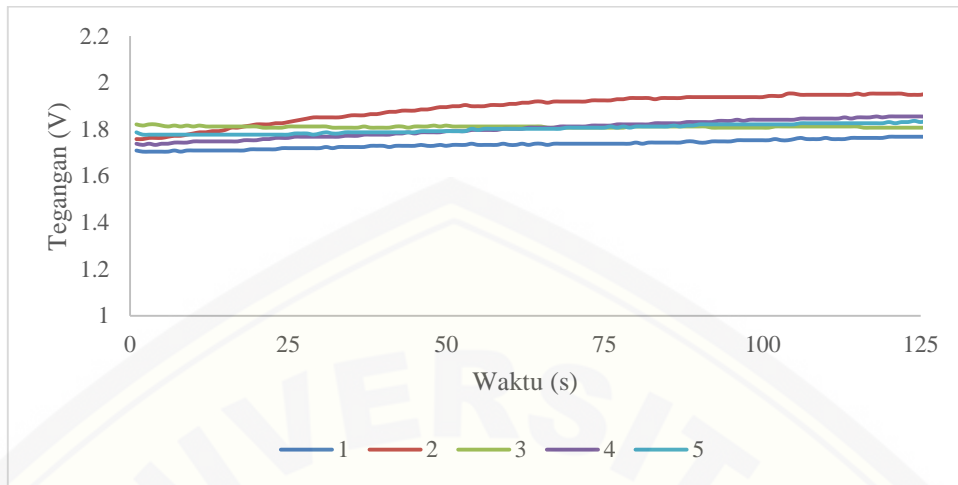
Data Tegangan ke 240 s.d 250	pengulangan				
	1	2	3	4	5
	1,689	1,602	1,587	1,543	1,543
	1,685	1,602	1,587	1,543	1,548
	1,685	1,602	1,587	1,543	1,543
	1,685	1,602	1,582	1,543	1,543
	1,685	1,602	1,582	1,538	1,543
	1,685	1,602	1,582	1,538	1,543
	1,685	1,597	1,582	1,538	1,543
	1,68	1,602	1,582	1,538	1,538
	1,68	1,597	1,582	1,538	1,538
	1,68	1,597	1,582	1,543	1,538
Rata-rata	1,683	1,600	1,583	1,540	1,542
Rata-rata total	1,590				
SD	0,058				
RSD	3,676				

b). Sensor gas MQ-2



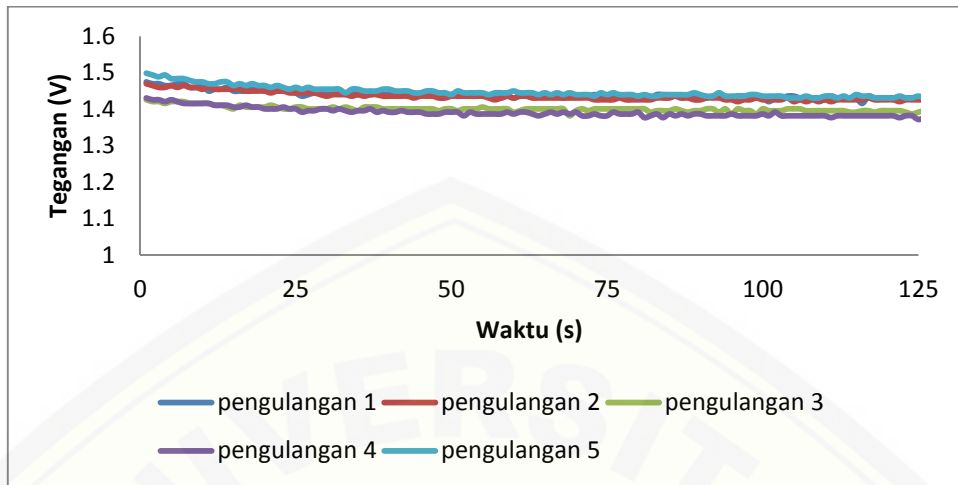
data tegangan (V) ke 240 s/d 250	Pengulangan				
	1	2	3	4	5
	0,786	0,767	0,732	0,762	0,732
	0,786	0,767	0,737	0,762	0,728
	0,791	0,762	0,737	0,762	0,728
	0,786	0,767	0,737	0,757	0,728
	0,786	0,767	0,728	0,757	0,728
	0,786	0,767	0,732	0,757	0,728
	0,781	0,771	0,737	0,762	0,728
	0,786	0,767	0,732	0,762	0,728
	0,786	0,767	0,732	0,757	0,732
	0,786	0,767	0,732	0,757	0,728
	0,786	0,767	0,737	0,762	0,728
rata-rata	0,786	0,767	0,734	0,760	0,729
rata-rata total	0,755				
SD	0,024				
RSD	3,148				

c). Sensor gas MQ-3



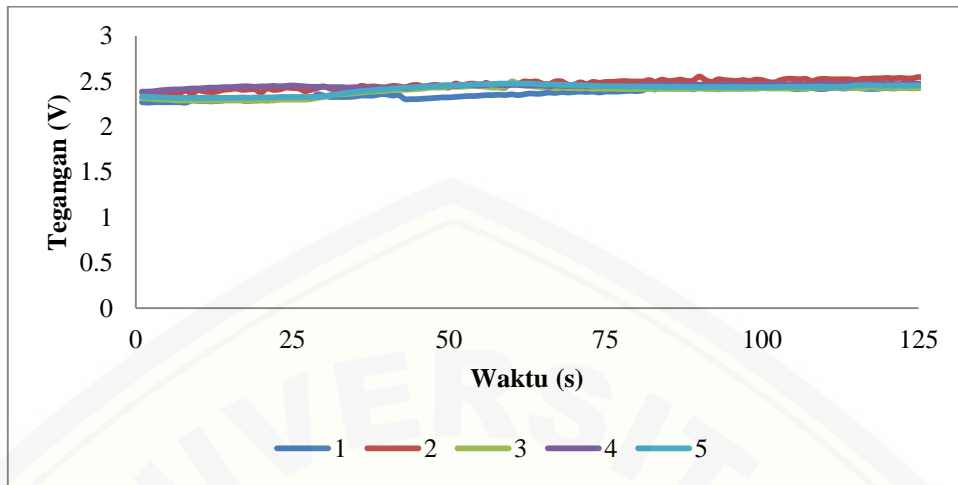
Data Tegangan (V) Ke 240 s.d 250	Pengulangan				
	1	2	3	4	5
	1,768	1,914	1,772	1,841	1,816
	1,768	1,914	1,777	1,841	1,816
	1,768	1,909	1,777	1,841	1,816
	1,768	1,909	1,782	1,841	1,816
	1,768	1,909	1,777	1,841	1,816
	1,768	1,909	1,777	1,841	1,816
	1,768	1,909	1,777	1,841	1,816
	1,768	1,909	1,777	1,841	1,812
	1,768	1,909	1,772	1,836	1,816
	1,768	1,909	1,777	1,836	1,816
rata-rata	1,768	1,910	1,777	1,840	1,816
rata-rata total	1,822				
SD	0,057				
RSD	3,140				

d). Sensor gas MQ-6



	Pengulangan				
	1	2	3	4	5
data Tegangan (V) ke 240 s.d 250	1,426	1,426	1,392	1,377	1,416
	1,426	1,421	1,387	1,382	1,411
	1,426	1,426	1,392	1,382	1,406
	1,426	1,416	1,392	1,372	1,416
	1,421	1,416	1,396	1,377	1,416
	1,421	1,431	1,392	1,377	1,411
	1,421	1,426	1,387	1,372	1,416
	1,416	1,431	1,392	1,382	1,416
	1,426	1,431	1,387	1,372	1,416
	1,426	1,431	1,392	1,372	1,411
	1,426	1,426	1,392	1,372	1,411
Rata-rata	1,424	1,426	1,391	1,376	1,413
rata-rata total	1,406				
SD	0,022				
RSD	1,537				

e). Sensor gas MQ-7



data Tegangan (V) ke 242 s/d 252	Pengulangan				
	1	2	3	4	5
	2,422	2,52	2,417	2,446	2,446
	2,422	2,52	2,412	2,446	2,446
	2,417	2,52	2,412	2,446	2,446
	2,417	2,52	2,417	2,441	2,446
	2,417	2,52	2,417	2,446	2,441
	2,422	2,515	2,417	2,446	2,446
	2,412	2,52	2,417	2,441	2,441
	2,417	2,515	2,412	2,441	2,446
	2,422	2,515	2,417	2,441	2,446
	2,422	2,515	2,417	2,441	2,446
	2,422	2,52	2,417	2,441	2,446
Rata-rata	2,419	2,18	2,416	2,443	2,445
rata-rata total	2,448				
SD	0,041				
RSD	1,688				

Lampiran 4.2 Perhitungan Keterulangan (*Repeatability*) Sensor Array

$$RSD = \frac{SD}{\bar{X}} \cdot 100 \%$$

1. Pengulangan Minggu Pertama

a. Variasi Ukuran Halus (<60 mesh)

Sensor	Tegangan (V)					Rata-rata	S _D	RSD (%)
	1	2	3	4	5			
MQ-135	1,518	1,453	1,372	1,442	1,368	1,430	0,062	4,356
MQ-2	0,308	0,309	0,317	0,327	0,327	0,318	0,009	2,930
MQ-3	1,592	1,611	1,560	1,606	1,614	1,596	0,022	1,391
MQ-6	1,518	1,452	1,372	1,442	1,369	1,431	0,062	4,339
MQ-7	1,518	1,453	1,372	1,441	1,369	1,430	0,062	4,351

b. Variasi Ukuran Medium (<45 mesh)

Sensor	Tegangan (V)					Rata-rata	S _D	RSD (%)
	1	2	3	4	5			
MQ-135	1,362	1,443	1,431	1,498	1,537	1,454	0,067	4,619
MQ-2	0,312	0,312	0,311	0,317	0,317	0,314	0,003	0,919
MQ-3	1,577	1,587	1,621	1,626	1,628	1,608	0,024	1,492
MQ-6	1,301	1,362	1,443	1,431	1,498	1,407	0,076	5,492
MQ-7	1,301	1,362	1,444	1,430	1,498	1,407	0,077	5,452

c. Variasi Ukuran Kasar (8-16 mesh)

Sensor	Tegangan (V)					Rata-rata	S _D	RSD (%)
	1	2	3	4	5			
MQ-135	1,230	1,492	1,339	1,321	1,275	1,331	0,090	6,735
MQ-2	0,244	0,236	0,293	0,273	0,285	0,236	0,014	5,812
MQ-3	1,523	1,484	1,602	1,533	1,582	1,545	0,047	3,067
MQ-6	1,230	1,492	1,338	1,321	1,276	1,331	0,090	6,731
MQ-7	1,230	1,493	1,338	1,321	1,276	1,332	0,090	6,764

d. Rata-rata Data Tegangan Sensor Array Minggu Pertama

Sensor gas	Tegangan (V)		
	Halus (<60 mesh)	Medium (<45 mesh)	Kasar (8-16 mesh)
MQ-135	1,430	1,454	1,331
MQ-2	0,318	0,314	0,236
MQ-3	1,596	1,608	1,545
MQ-6	1,431	1,407	1,331
MQ-7	1,430	1,407	1,332

2. Pengulangan Minggu Ketiga

a. Variasi Ukuran Halus (<60 mesh)

Sensor	Tegangan (V)					Rata-rata	S _D	RSD (%)
	1	2	3	4	5			
MQ-135	1,492	1,578	1,652	1,646	1,702	1,614	0,081	5,038
MQ-2	0,479	0,479	0,478	0,479	0,506	0,484	0,012	2,542
MQ-3	1,755	1,785	1,758	1,802	1,821	1,784	0,028	1,579
MQ-6	1,492	1,578	1,651	1,646	1,702	1,614	0,081	5,023
MQ-7	1,492	1,578	1,651	1,646	1,702	1,614	0,081	5,020

b. Variasi Ukuran Medium (<45 mesh)

Sensor	Tegangan (V)					Rata-rata	S _D	RSD (%)
	1	2	3	4	5			
MQ-135	1,703	1,677	1,640	1,713	1,620	1,670	0,040	2,389
MQ-2	0,337	1,319	0,298	0,278	0,269	0,300	0,025	8,462
MQ-3	1,671	1,782	1,841	1,812	1,877	1,797	0,079	4,380
MQ-6	1,699	1,670	1,636	1,709	1,611	1,665	0,041	2,490
MQ-7	1,702	1,677	1,640	1,712	1,619	1,670	0,040	2,383

c. Variasi Ukuran Kasar (8-16 mesh)

Sensor	Tegangan (V)					Rata-rata	S _D	RSD (%)
	1	2	3	4	5			
MQ-135	1,535	1,601	1,598	1,606	1,632	1,594	0,036	2,245
MQ-2	0,237	0,225	0,224	0,219	0,220	0,225	0,007	3,158
MQ-3	1,779	1,763	1,758	1,738	1,768	1,761	0,014	0,790
MQ-6	1,535	1,600	1,598	1,606	1,631	1,594	0,036	2,237
MQ-7	1,535	1,600	1,598	1,606	1,632	1,594	0,036	2,230

d. Rata-rata Data Tegangan Sensor Array Minggu Ketiga

Sensor gas	Tegangan (V)		
	Halus (<60 mesh)	Medium (<45 mesh)	Kasar (8-16 mesh)
MQ-135	1,614	1,670	1,594
MQ-2	0,484	0,300	0,225
MQ-3	1,784	1,797	1,761
MQ-6	1,614	1,665	1,594
MQ-7	1,614	1,670	1,594

3. Pengulangan Minggu Kelima

a. Variasi Ukuran Halus (<60 mesh)

Sensor	Tegangan (V)					Rata-rata	S _D	RSD (%)
	1	2	3	4	5			
MQ-135	1,310	1,322	1,353	1,486	1,413	1,377	0,073	5,320
MQ-2	0,463	0,469	0,476	0,474	0,493	0,475	0,011	2,381
MQ-3	1,587	1,611	1,574	1,637	1,677	1,617	0,041	2,537
MQ-6	1,310	1,321	1,353	1,487	1,413	1,377	0,073	5,325
MQ-7	1,309	1,321	1,353	1,487	1,414	1,377	0,074	5,344

b. Variasi Ukuran Medium (<45 mesh)

Sensor	Tegangan (V)					Rata-rata	S _D	RSD (%)
	1	2	3	4	5			
MQ-135	1,411	1,533	1,427	1,474	1,630	1,495	0,089	5,973
MQ-2	0,532	0,542	0,506	0,515	0,518	0,523	0,014	2,726
MQ-3	1,592	1,646	1,626	1,654	1,702	1,644	0,040	2,440
MQ-6	1,411	1,533	1,426	1,473	1,630	1,495	0,089	5,985
MQ-7	1,411	1,533	1,427	1,437	1,630	1,495	0,089	5,972

c. Variasi Ukuran Kasar (8-16 mesh)

Sensor	Tegangan (V)					Rata-rata	S _D	RSD (%)
	1	2	3	4	5			
MQ-135	1,522	1,519	1,462	1,560	1,548	1,522	0,038	2,474
MQ-2	0,469	0,459	0,466	0,477	0,455	0,465	0,009	1,884
MQ-3	1,710	1,720	1,733	1,729	1,675	1,713	0,023	1,355
MQ-6	1,522	1,519	1,462	1,560	1,547	1,522	0,038	2,482
MQ-7	1,522	1,518	1,462	1,560	1,547	1,522	0,038	2,483

d. Rata-rata Data Tegangan Sensor Array Minggu Kelima

Sensor gas	Tegangan (V)		
	Halus (<60 mesh)	Medium (<45 mesh)	Kasar (8-16 mesh)
MQ-135	1,377	1,495	1,522
MQ-2	0,475	0,523	0,465
MQ-3	1,617	1,644	1,713
MQ-6	1,377	1,495	1,522
MQ-7	1,377	1,495	1,522

4. Pengulangan Minggu Ketujuh

a. Variasi Ukuran Halus (<60 mesh)

Sensor	Tegangan (V)					Rata-rata	S _D	RSD (%)
	1	2	3	4	5			
MQ-135	1,325	1,334	1,339	1,298	1,556	1,328	0,094	6,818
MQ-2	0,511	0,487	0,479	0,435	0,418	0,466	0,035	7,426
MQ-3	1,416	1,406	1,405	1,442	1,460	1,426	0,024	1,703
MQ-6	1,325	1,334	1,399	1,298	1,556	1,382	0,094	6,808
MQ-7	1,325	1,334	1,399	1,298	1,556	1,382	0,094	6,811

b. Variasi Ukuran Medium (<45 mesh)

Sensor	Tegangan (V)					Rata-rata	S _D	RSD (%)
	1	2	3	4	5			
MQ-135	1,094	1,126	1,097	1,235	1,109	1,132	0,055	4,885
MQ-2	0,332	0,322	1,332	0,332	0,287	0,321	0,018	5,539
MQ-3	1,345	1,349	1,333	1,375	1,323	1,345	0,020	1,470
MQ-6	1,094	1,126	1,096	1,235	1,109	1,132	0,059	5,225
MQ-7	1,094	1,126	1,096	1,235	1,110	1,132	0,059	5,212

c. Variasi Ukuran Kasar (8-16 mesh)

Sensor	Tegangan (V)					Rata-rata	S _D	RSD (%)
	1	2	3	4	5			
MQ-135	0,857	0,950	0,974	0,903	0,842	0,905	0,052	5,729
MQ-2	0,254	0,255	0,259	0,254	0,257	0,256	0,002	0,801
MQ-3	1,181	1,191	1,196	1,182	1,162	1,182	0,013	1,100
MQ-6	0,857	0,950	0,975	0,903	0,842	0,905	0,052	5,715
MQ-7	0,857	0,950	0,975	0,903	0,842	0,905	0,052	5,719

d. Rata-rata Data Tegangan Sensor Array Minggu Ketujuh

Sensor gas	Tegangan (V)		
	Halus (<60 mesh)	Medium (<45 mesh)	Kasar (8-16 mesh)
MQ-135	1,382	1,132	0,905
MQ-2	0,466	0,321	0,256
MQ-3	1,426	1,345	1,182
MQ-6	1,382	1,132	0,905
MQ-7	1,382	1,132	0,905

Lampiran 4.3 Perbandingan nilai respon sensor tunggal dan array

Sensor	Tegangan (V)	
	Tunggal	Array
MQ 135	1,590	1,438
MQ2	0,755	0,364
MQ3	1,822	1,598
MQ6	1,406	1,425
MQ7	2,448	1,426

Lampiran 4.4 Nilai tegangan rata-rata dari sensor array selama empat kali pengulangan untuk ketiga ukuran bubuk

Sensor	Nilai Tegangan (V)		
	Halus (60 mesh)	Medium (45 mesh)	Kasar (8 mesh)
MQ 135	1.451	1.438	1.338
MQ2	0.436	0.364	0.295
MQ3	1.606	1.598	1.550
MQ6	1.451	1.425	1.338
MQ7	1.451	1.426	1.338

Lampiran 4.5 Perhitungan *Anova single Factor* untuk mengetahui pengaruh Ukuran Bubuk Kopi terhadap Respon Sensor

rata-rata pengulangan nilai respon sensor (mV)			
Sensor	Halus (<60 mesh)	Medium (<45 mesh)	Kasar (8-16 mesh)
MQ 135	1.451	1.438	1.338
MQ2	0.436	0.364	0.295
MQ3	1.606	1.598	1.550
MQ6	1.451	1.425	1.338
MQ7	1.451	1.426	1.338

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
Halus (<60 mesh)	5	6.39414599	1.278829	0.226634
Medium (<45 mesh)	5	6.251553022	1.250311	0.250578
Kasar (8-16 mesh)	5	5.860375342	1.172075	0.248633

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Pengulangan	0.0305509	2	0.015275	0.063135	0.939126	3.885294
Galat/Error	2.9033849	12	0.241949			
Total	2.9339358	14				

Lampiran 4.6 Persentase nilai RSD setiap varian ukuran bubuk kopi untuk *repeatability* sensor array

a. Ukuran Bubuk Kopi Halus (<60 Mesh)

Pengulangan	<i>Relative Standart Deviation (%)</i>				
	<i>Sensor</i>				
	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
Minggu 1	4,356	2,930	1,391	4,339	4,351
Minggu 2	5,038	2,542	1,579	5,023	5,020
Minggu 3	5,320	2,381	2,537	5,325	5,344
Minggu 4	6,818	7,462	1,703	6,808	6,811
Rata-Rata	5,383	3,829	1,802	5,374	5,381

b. Ukuran Bubuk Kopi Medium (<45 Mesh)

Pengulangan	<i>Relative Standart Deviation (%)</i>				
	<i>Sensor</i>				
	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
Minggu 1	4,619	0,919	1,492	5,492	5,452
Minggu 2	2,389	8,462	4,380	2,490	2,838
Minggu 3	5,973	2,726	2,440	5,985	5,972
Minggu 4	4,885	5,539	1,470	5,225	5,212
Rata-Rata	4,466	4,411	2,395	4,798	4,868

c. Ukuran Bubuk Kopi Kasar (8-16 Mesh)

Pengulangan	<i>Relative Standart Deviation (%)</i>				
	<i>Sensor</i>				
	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
Minggu 1	6,735	5,812	3,067	6,731	6,764
Minggu 2	2,245	3,158	0,790	2,237	2,230
Minggu 3	2,474	1,884	1,355	2,482	2,483
Minggu 4	5,719	0,801	1,100	5,715	5,719
Rata-Rata	4,293	2,914	1,578	4,291	4,299

Lampiran 4.7 persentase nilai RSD setiap varian ukuran bubuk kopi untuk *reproducibility* sensor array

a. Ukuran Bubuk Kopi Halus (<60 Mesh)

Sensor	Tegangan (V)				Rata-rata	st. dev	rsd
	Minggu 1	Minggu 3	Minggu 5	Minggu 7			
MQ-135	1,430	1,614	1,377	1,382	1,451	0,111	7,680
MQ-2	0,318	0,484	0,475	0,466	0,436	0,079	18,132
MQ-3	1,596	1,784	1,617	1,426	1,606	0,147	9,125
MQ-6	1,431	1,614	1,377	1,382	1,451	0,111	7,667
MQ-7	1,430	1,614	1,377	1,382	1,451	0,111	7,676

b. Ukuran Bubuk Kopi Medium (<45 Mesh)

Sensor	Tegangan (V)				Rata-rata	st. dev	rsd
	Minggu 1	Minggu 3	Minggu 5	Minggu 7			
MQ-135	1,454	1,670	1,495	1,132	1,438	0,224	15,60
MQ-2	0,314	0,300	0,523	0,321	0,364	0,106	29,02
MQ-3	1,608	1,797	1,644	1,345	1,598	0,188	11,74
MQ-6	1,407	1,665	1,495	1,132	1,425	0,223	15,62
MQ-7	1,407	1,670	1,495	1,132	1,426	0,224	15,74

c. Ukuran Bubuk Kopi Kasar (8-16 Mesh)

Sensor	Tegangan (V)				Rata-rata	st. dev	rsd
	Minggu 1	Minggu 3	Minggu 5	Minggu 7			
MQ-135	1,331	1,594	1,522	0,905	1,338	0,309	23,11
MQ-2	0,236	0,225	0,465	0,256	0,295	0,114	38,55
MQ-3	1,545	1,761	1,713	1,182	1,550	0,262	16,92
MQ-6	1,331	1,594	1,522	0,905	1,338	0,309	23,10
MQ-7	1,332	1,594	1,522	0,905	1,338	0,309	23,09

Lampiran 4.8 Uji ANOVA Single Factor Untuk Menentukan *Reproducibility* Sensor Array

a. Ukuran Mesh Bubuk Kopi (<60 Mesh)

Minggu Ke	Tegangan (mV)				
	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
1	1.430	0.318	1.596	1.431	1.430
3	1.614	0.484	1.784	1.614	1.614
5	1.377	0.475	1.617	1.377	1.377
7	1.382	0.466	1.426	1.382	1.382

Groups	Count	Sum	Average	Variance
minggu 1	5	6.205438	1.241088	0.271579
minggu 3	5	7.110108	1.422022	0.280238
minggu 5	5	6.222355	1.244471	0.195873
minggu 7	5	6.038683	1.207737	0.172323

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
pengulangan	0.140816	3	0.046939	0.204078	0.892057	3.238872
galat/error	3.68005	16	0.230003			
Total	3.820866	19				

b. Ukuran Mesh Bubuk Kopi (<45 Mesh)

Minggu Ke	Tegangan (mV)				
	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
1	1.454	0.314	1.608	1.407	1.407
3	1.670	0.300	1.797	1.665	1.670
5	1.495	0.523	1.644	1.495	1.495
7	1.132	0.321	1.345	1.132	1.132

Groups	Count	Sum	Average	Variance
minggu 1	5	6.18941	1.237882	0.273614
minggu 3	5	7.102533	1.420507	0.395243
minggu 5	5	6.6513	1.33026	0.208005
minggu 7	5	5.062969	1.012594	0.157872

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Pengulangan	0.460112	3	0.153371	0.592889	0.628634	3.238872
Galat/error	4.138938	16	0.258684			
Total	4.59905	19				

c. Ukuran Mesh Bubuk Kopi (8-16 Mesh)

Minggu Ke	Tegangan (mV)				
	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
1	1.331	0.236	1.545	1.331	1.332
3	1.594	0.225	1.761	1.594	1.594
5	1.522	0.465	1.713	1.522	1.522
7	0.905	0.256	1.182	0.905	0.905

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
minggu 1	5	5.774877	1.154975	0.272674
minggu 3	5	6.768831	1.353766	0.403353
minggu 5	5	6.74376	1.348752	0.25088
minggu 7	5	4.154033	0.830807	0.117743

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Pengulangan	0.904915	3	0.301638	1.154983	0.357452	3.238872
Galat/Error	4.178601	16	0.261163			
Total	5.083516	19				