



**KARAKTERISASI AROMA KOPI ROBUSTA ARGOPURO  
MENGUNAKAN *SENSOR ARRAY* BERDASARKAN  
VARIASI SUHU PENYEDUHAN**

**SKRIPSI**

Oleh

**Pungky Vidya Jayanti  
NIM 151810301019**

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



**KARAKTERISASI AROMA KOPI ROBUSTA ARGOPURO  
MENGUNAKAN *SENSOR ARRAY* BERDASARKAN  
VARIASI SUHU PENYEDUHAN**

**SKRIPSI**

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

Oleh

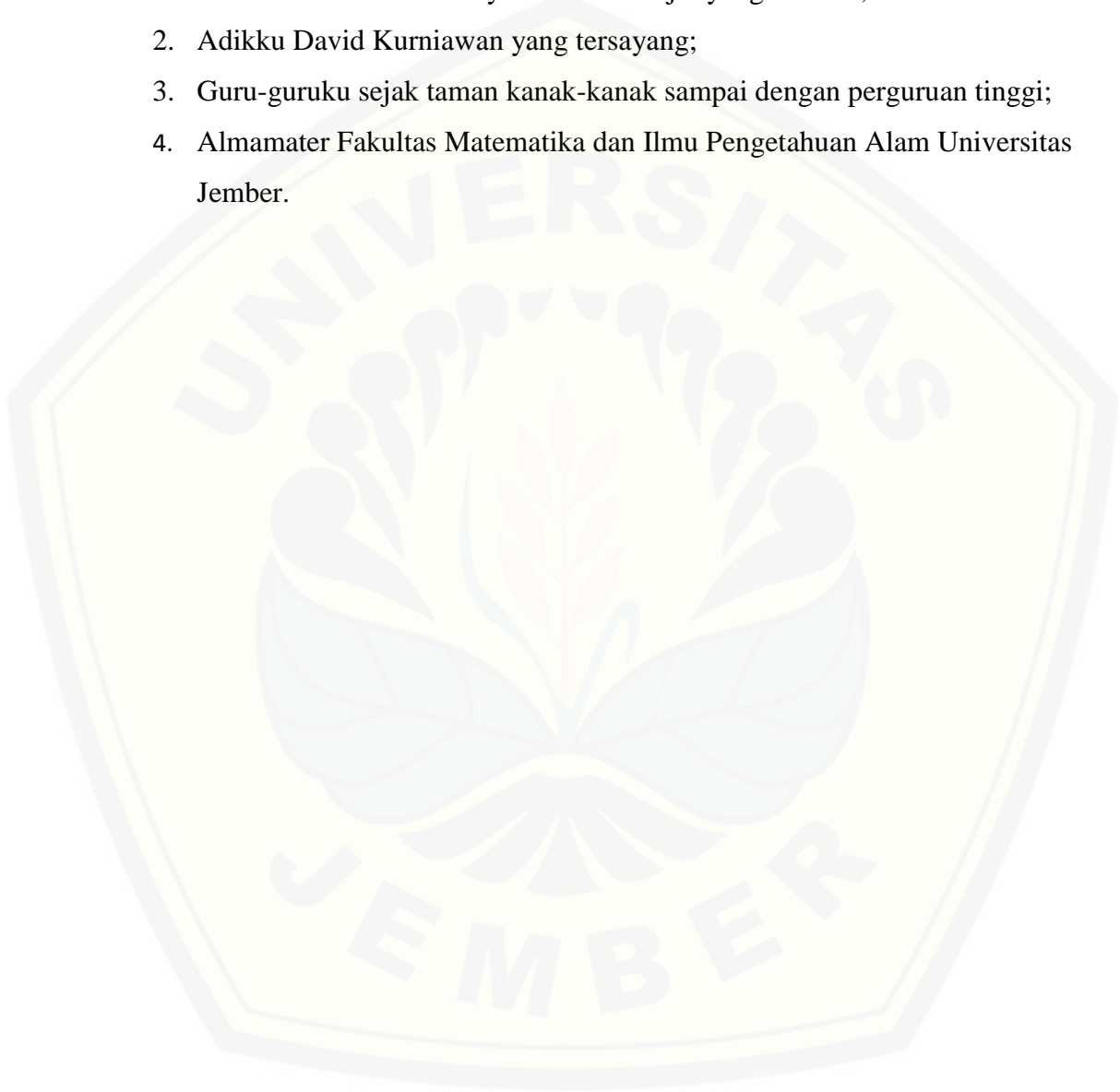
**Pungky Vidya Jayanti  
NIM 151810301019**

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

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Maria Ulfa dan ayahanda Nurkojin yang tercinta;
2. Adikku David Kurniawan yang tersayang;
3. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
4. Almamater Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.



## MOTO

Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.

(terjemahan Surat *Al-Mujadalah* ayat 11)<sup>1</sup>



---

<sup>1</sup> Departemen Agama Republik Indonesia. 2010. Mushaf Aisyah Al-Qur'an dan terjemahan untuk Wanita. Bandung: Penerbit JABAL.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Pungky Vidya Jayanti

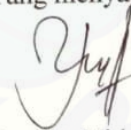
NIM : 151810301019

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Karakterisasi Aroma Kopi Robusta Argopuro Menggunakan *Sensor Array* Berdasarkan Variasi Suhu Penyeduhan” adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, 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 ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 15 Juli 2019

Yang menyatakan,



Pungky Vidya Jayanti

NIM 151810301019

**SKRIPSI**

**KARAKTERISASI AROMA KOPI ROBUSTA ARGOPURO  
MENGUNAKAN *SENSOR ARRAY* BERDASARKAN VARIASI SUHU  
PENYEDUHAN**

Oleh

**Pungky Vidya Jayanti  
NIM 151810301019**

**Pembimbing**

Dosen Pembimbing Utama : Tri Mulyono S.Si., M.Si.

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

**PENGESAHAN**

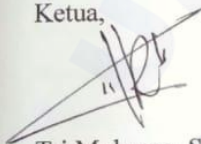
Skripsi berjudul “Karakterisasi Aroma Kopi Robusta Argopuro Menggunakan *Sensor Array* Berdasarkan Variasi Suhu Penyeduhan” karya Pungky Vidya Jayanti telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

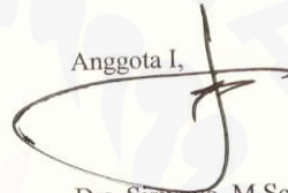
Tim Penguji:

Ketua,



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

Anggota I,



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

Anggota II,

Ika Oktavianawati, S.Si., M.Sc.  
NIP. 198010012003122001

Anggota III,

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

Mengesahkan

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,



Scanned with  
CamScanner

Drs. Sujito, Ph.D  
NIP. 196102041987111001

## RINGKASAN

**Karakterisasi Aroma Kopi Robusta Argopuro Menggunakan *Sensor Array* Berdasarkan Variasi Suhu Penyeduhan;** Pungky Vidya Jayanti, 151810301019; 2019: 72 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Kopi merupakan salah satu komoditi lokal yang ada di Jember, salah satunya kopi robusta Argopuro. Kopi memiliki kandungan dari beberapa senyawa volatil yang dapat mempengaruhi karakteristik aroma kopi itu sendiri. Aroma kopi sampai saat ini dikarakterisasi dengan cara melibatkan beberapa *human tester* dengan indera penciumannya. Cara ini menggunakan *quality control* yang sangat subjektif karena bergantung pada kemampuan, pemahaman, serta pengalaman masing-masing tester terhadap kopi robusta. Sehingga cara analisa aroma kopi dengan melibatkan *human tester* kurang bisa dijadikan acuan untuk mengidentifikasi dan mengelompokkan jenis kopi berdasarkan aromanya. Oleh karena itu, diperlukan alternatif lain yang dapat digunakan untuk mengkarakterisasi jenis kopi berdasarkan aromanya, salah satunya dengan *electronic nose/ gas sensor array*. Tujuan penelitian untuk mengetahui pola respon *gas sensor array* terhadap aroma kopi Robusta Argopuro, pengaruh suhu terhadap pola sinyal *gas sensor array*, dan kinerja *gas sensor array*. Hasil penelitian diharapkan dapat dijadikan alternatif dalam deteksi aroma bubuk kopi menggunakan *electronic nose/gas sensor array*.

*Electronic nose* merupakan sebuah sistem yang dirancang untuk mendeteksi dan mendiskrimasi aroma yang kompleks dengan menggunakan larik sensor (*sensor array*). Penelitian ini menggunakan larik sensor yang terdiri atas sensor-sensor aroma, yaitu sensor gas MQ-2, sensor gas MQ-3, sensor gas MQ-6, sensor gas MQ-7, dan sensor gas MQ-135. Sensor gas tersebut disusun sedemikian rupa di atas media akrilik dan diuji pola sinyalnya menggunakan sampel kopi Robusta Argopuro. Sampel kopi yang diuji merupakan bubuk kopi yang diseduh dengan air panas. Kelima sensor gas dihubungkan dengan arduino



yang telah dihubungkan dengan *personal computer* melalui program Labview 2018. Pengukuran dengan *electronic nose/gas sensor array* dihasilkan pola sinyal yang kemudian dianalisa pola dan kinerja *gas sensor array*.

Pengukuran respon terhadap aroma kopi Robusta Argopuro dilakukan dengan dua tahap, yaitu pengukuran respon dengan sensor tunggal dan pengukuran respon atau pola dengan *sensor array*. Hal ini bertujuan untuk melihat adanya perubahan respon ketika disusun secara tunggal dan *array*. Pengukuran respon dengan sensor tunggal menghasilkan respon sensor MQ-7 paling tinggi (2,448V), sedangkan respon sensor MQ-2 paling rendah (0,667V). Sensor MQ-3 dan MQ-6 memiliki respon yang hampir sama yaitu 1,295V dan 1,340V, sedangkan nilai tegangan sensor MQ-135 lebih rendah dari respon sensor MQ-3 dan MQ-6 yaitu 1,015V.

Pengukuran respon atau pola dengan *sensor array* menghasilkan pola sinyal *gas sensor array*. Hasil pengukuran didapatkan sensor MQ-135, MQ-6, dan MQ-7 menghasilkan respon yang paling tinggi dan memiliki nilai tegangan hampir sama berturut-turut 1,49V, 1,50V, dan 1,49V. Sedangkan sensor MQ-3 memiliki respon yang paling rendah dengan nilai tegangan sebesar 0,93V. Sensor MQ-2 memiliki respon yang sedikit lebih tinggi dari sensor MQ-3 dengan nilai tegangan 1,26V. Pola respon *gas sensor array* terhadap aroma kopi dipengaruhi oleh suhu penyeduhan dimana semakin tinggi suhu, maka akan semakin tinggi nilai tegangan *gas sensor array* terhadap aroma kopi Argopuro.

## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Karakterisasi Aroma Kopi Robusta Argopuro Menggunakan *Sensor Array* Berdasarkan Variasi Suhu Penyeduhan”. 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. Tri Mulyono, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama, Drs. Siswoyo, M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Ika Oktavianawati, S.Si., M.Sc., selaku Dosen Penguji Utama, dan Asnawati S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji Anggota;
3. Tanti Haryati, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Tim Riset Analitik yang telah memberi wawasan dan pengetahuan tentang penelitian ini;
5. Kedua orangtua dan keluarga yang selalu memberikan dorongan dan doanya demi terselesaikannya skripsi ini;
6. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 15 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	iii
HALAMAN MOTO .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN .....	viii
PRAKATA .....	x
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Tujuan .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Batasan Masalah.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5 Manfaat .....</b>	<b>4</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Definisi Kopi .....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Persebaran Kopi robusta di seluruh Indonesia .....	7
<b>2.2 Sensor Gas .....</b>	<b>10</b>
2.2.1 Definisi .....	10
2.2.2 Prinsip kerja dari gas sensor .....	11
2.2.3 Jenis gas sensor.....	12
<b>2.3 Gas sensor array .....</b>	<b>14</b>

2.4 Pengembangan Penelitian.....	16
2.5 Modul Arduino Uno .....	18
2.6 LabVIEW 2018 .....	18
2.7 Teknik preparasi sampel.....	19
<b>BAB 3. METODOLOGI PERCOBAAN .....</b>	<b>20</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	20
3.2 Metode Penelitian .....	20
3.2.1 Alat dan Bahan .....	20
3.2.2 Diagram Alir Penelitian.....	20
3.2.3 Skema Kerja .....	23
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>25</b>
4.1 Karakterisasi Respon Sensor Tunggal terhadap Aroma Kopi Robusta Argopuro Jember .....	25
4.2 Pola Sinyal <i>Gas Sensor Array</i> terhadap Aroma Kopi dari Hasil Penyeduhan Sampel Kopi Robusta Argopuro Jember	26
4.3 Pengaruh Suhu Terhadap Pola Sinyal Aroma Kopi Robusta Argopuro Menggunakan <i>Gas Sensor Array</i> .....	28
4.4 Kinerja <i>Gas Sensor Array</i> dalam Mendeteksi Aroma Kopi Robusta Argopuro.....	29
<b>BAB 5. PENUTUP .....</b>	<b>35</b>
5.1 KESIMPULAN .....	35
5.2 SARAN .....	35
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>37</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>40</b>

**DAFTAR TABEL**

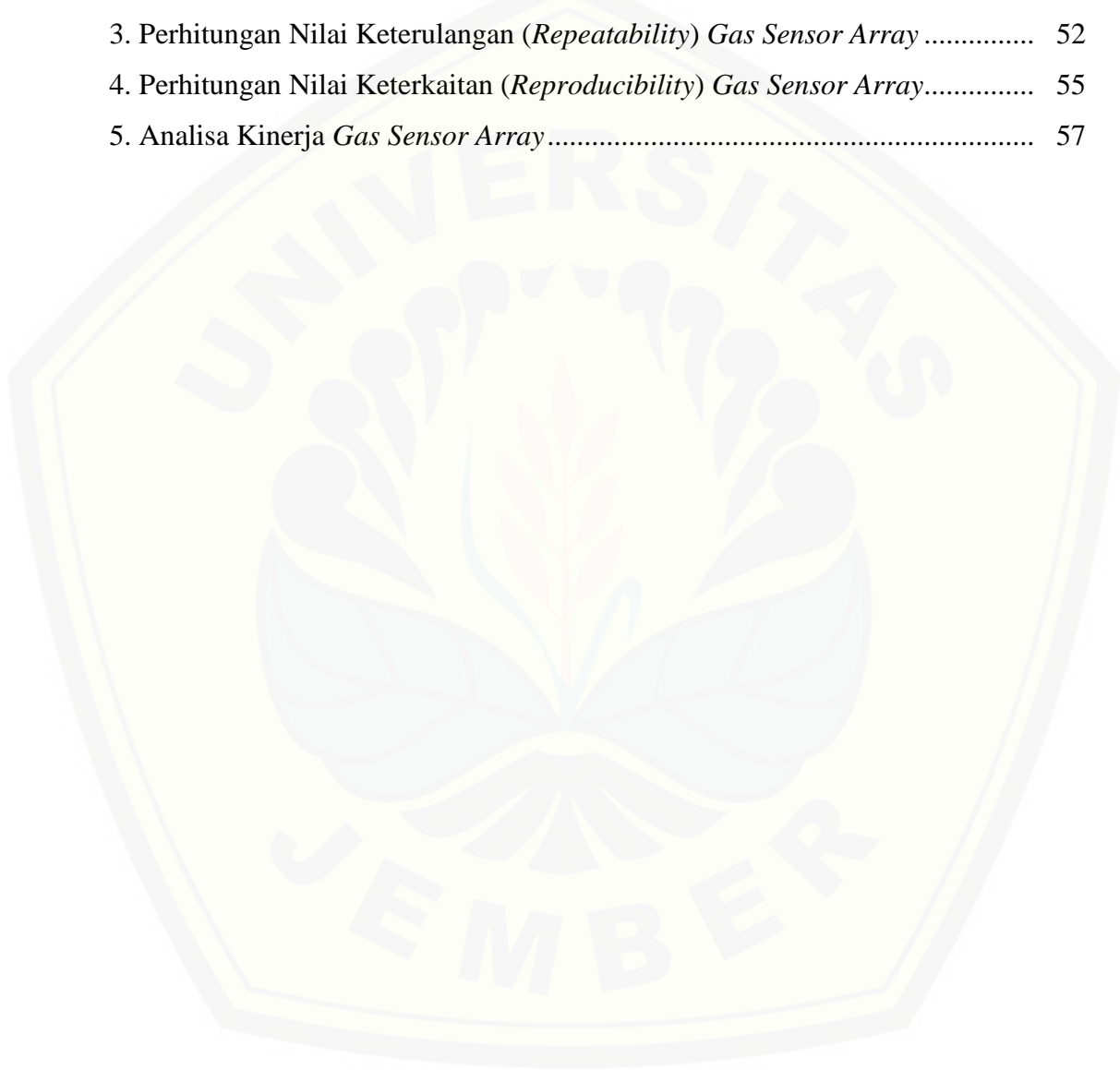
	Halaman
2. 1 Komposisi Kimia Biji Kopi Robusta dan Biji Kopi .....	9
2. 2 Jenis Gas Sensor MQ dan Kepekaannya terhadap Senyawa .....	12
4. 1 Nilai Keterulangan ( <i>repeatability</i> ) masing-masing Sensor.....	29
4. 2 Nilai Keterulangan ( <i>repeatability</i> ) <i>Gas Sensor Array</i> pada suhu 95 °C .....	30
4. 3 Nilai Keterkaitan ( <i>Reproducibility</i> ) <i>Gas Sensor Array</i> .....	30
4. 4 Nilai <i>reproducibility</i> pada suhu 95 °C.....	32
4. 5 Uji Anova Dua Faktor Pola Respon <i>Gas Sensor Array</i> .....	33

**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
2. 1 Perkembangan Luas Area Kopi menurut Jenis Kopi, Tahun 2001-2016 ....	8
2. 2 Produksi Kopi Robusta pada Lima Sentra Produksi pada Tahun 2012-2016	8
2. 3 Struktur Sensor Gas .....	10
2. 4 Modul sensor MQ-2 .....	12
2. 5 Modul Sensor MQ-3 .....	13
2. 6 Modul sensor MQ-6 .....	13
2. 7 Modul Sensor MQ-7 .....	14
2. 8 Modul Sensor MQ-135 .....	14
2. 9 Desain Sensor Array Sederhana.....	15
2. 10 Struktur <i>backpropagation neural network</i> .....	15
2. 11 Rancangan Topologi JST untuk Tahu Murni dan Berformalin .....	17
2. 12 Modul Arduino UNO .....	18
3. 1 Susunan Sensor pada Media Akrilik .....	21
3. 2 Desain Alat pada Material Akrilik .....	21
3. 3 Desain Alat Percobaan .....	21
4. 1 Pola Respon Sensor Tunggal .....	26
4. 2 Pola Sinyal <i>Gas Sensor Array</i> dan Tunggal pada suhu 92 °C .....	27
4. 3 Pengaruh Suhu terhadap Pola Sinyal <i>Gas Sensor Array</i> .....	28
4. 4 Perbandingan Pola <i>Gas Snsor Array</i> terhadap Aroma Kopi Argopuro .....	31
4. 5 PCA Pola <i>Gas Sensor Array</i> .....	33

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
1. Pengambilan 250 data .....	40
2. Perhitungan Nilai Keterulangan ( <i>Repeatability</i> ) Sensor Tunggal.....	47
3. Perhitungan Nilai Keterulangan ( <i>Repeatability</i> ) <i>Gas Sensor Array</i> .....	52
4. Perhitungan Nilai Keterkaitan ( <i>Reproducibility</i> ) <i>Gas Sensor Array</i> .....	55
5. Analisa Kinerja <i>Gas Sensor Array</i> .....	57



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kopi merupakan salah satu komoditi lokal yang ada di Jember. Salah satu jenis kopi komoditi lokal daerah Jember adalah kopi robusta. Terdapat beberapa jenis kopi robusta di Jember berdasarkan daerah tumbuhnya, salah satunya kopi robusta Argopuro. Kopi robusta dari masing-masing daerah di Jember memiliki karakteristik yang unik baik dari segi aroma maupun kandungannya sehingga berbeda dengan jenis kopi lainnya. Keunikan dari masing-masing kopi robusta tersebut dapat dipengaruhi oleh perbedaan geografis dimana kopi robusta tersebut ditanam dan dibudidayakan (Triyanti, 2016).

Kopi memiliki kandungan dari beberapa senyawa volatil yang dapat mempengaruhi karakteristik aroma kopi itu sendiri. Menurut Rodrigues dkk. (2012), beberapa senyawa yang terdapat di dalam kopi diantaranya piridin, 2-metilpirazin, 2,5-dimetilpirazin, 2,6-dimetilpirazin, 2-etil-6-metilpirazin, 2-etil-5-metilpirazin, 2-furankarboksaldehida, 2-furanmetanol, 5-metilfurfural, 2-metoksifenol, 2-metoksi-4-vinilfenol, 4-etil-2-metoksifenol, 1H-pirol-2-karboksaldehida, maltol, dan asam asetat. Senyawa-senyawa tersebut sangat berpengaruh terhadap aroma kopi yang dihasilkan (Rodrigues dkk., 2012).

Kandungan senyawa dalam kopi baik secara kualitatif maupun kuantitatif dapat dikarakterisasi menggunakan GC-MS. GC-MS merupakan teknik yang umum digunakan untuk mengidentifikasi senyawa volatil pada makanan dan minuman. GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*) terdiri dari perpaduan antara kromatografi gas (memisahkan senyawa menjadi senyawa tunggal) dan spektroskopi massa (mendeteksi jenis senyawa berdasarkan pola fragmentasinya). Namun, alat ini memiliki kelemahan yaitu hanya dapat digunakan sebagai *quality control* di laboratorium dan membutuhkan biaya operasional alat untuk setiap analisa sampel (Rodrigues, *et al*, 2012).

Aroma kopi sendiri sampai saat ini dikarakterisasi dengan cara melibatkan beberapa *human tester* dengan indera penciumannya. Cara ini menggunakan *quality control* yang sangat subjektif karena bergantung pada kemampuan,



pemahaman, serta pengalaman masing-masing tester terhadap kopi robusta. Sedangkan kemampuan, pemahaman, serta pengalaman masing-masing tester terhadap kopi robusta berbeda. Sehingga cara analisa aroma kopi dengan melibatkan *human tester* kurang bisa dijadikan acuan untuk mengidentifikasi dan mengelompokkan jenis kopi berdasarkan aromanya (Rodrigues dkk., 2012). Alternatif lain yang dapat digunakan untuk mengkarakterisasi jenis kopi berdasarkan aromanya yaitu dengan *Electronic nose*.

*Electronic nose* merupakan sebuah sistem yang dirancang untuk mendeteksi dan mendiskrimasi aroma yang kompleks dengan menggunakan larik sensor (*sensor array*). Larik sensor ini terdiri dari sensor-sensor aroma yang umum digunakan untuk berbagai aroma dari bahan biologi atau kimia. Sensor aroma tersebut tidak hanya selektif untuk satu unsur atau senyawa saja. Hal ini dikarenakan aroma terdiri dari berbagai unsur dan senyawa, sehingga pola sinyal yang diterima oleh sensor gas bersifat tumpang tindih. Pola sinyal inilah yang dianalisa untuk mendeteksi dan mendiskriminasi aroma dari beberapa jenis kopi (Astuti dkk., 2016).

Sensor gas tersusun atas bahan detektor gas yang merupakan bahan semikonduktor (metal oksida), khususnya senyawa  $\text{SnO}_2$ . Sifat khusus bahan semikonduktor ialah memiliki stabilitas termal yang tinggi sehingga cocok digunakan untuk sensor kimia. Kelebihan bahan semikonduktor ialah struktur perangkat yang sederhana, relatif murah, dan mampu beradaptasi terhadap berbagai reaksi oksidasi atau reduksi gas. Sensor gas yang telah dikembangkan yaitu TGS *sensors* oleh Figaro Inc dan SP *sensors* oleh FIS Inc dan telah memiliki kepekaan terhadap gas yang spesifik. Rodrigues, *et al* (2012) dalam penelitiannya membuat *sensor array* yang terdiri dari TGS *sensors*, SP *sensors*, dan ST *sensors* sebagai *quality control* untuk mendeteksi berbagai senyawa dari kopi Kolombia.

*Sensor array* untuk mendeteksi aroma bubuk kopi belum begitu berkembang di Indonesia. Oleh karena itu, penelitian ini terfokus pada penyusunan *sensor array* dan pengaruh suhu terhadap pendeteksian aroma kopi robusta Argopuro Jember. Penelitian ini menggunakan 5 sensor gas berbeda, yaitu MQ-2, MQ-3, MQ-6, MQ-7, dan MQ-135. Kelima sensor tersebut disusun dalam

material akrilik sedemikian rupa menjadi *sensor array* dan diharapkan mampu mendeteksi aroma bubuk kopi robusta secara *repeatability* dan *reproducible*. Penelitian ini juga memvariasikan suhu untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap pola sinyal deteksi gas aroma kopi oleh *gas sensor array*. Pola sinyal tersebut akan diproses dan ditampilkan pada layar *Personal Computer* melalui *software* LabVIEW 2018.

### 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang mendasari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakterisasi respon sensor tunggal terhadap aroma kopi Robusta Argopuro Jember?
2. Bagaimana pola sinyal *gas sensor array* terhadap aroma kopi dari hasil penyeduhan sampel kopi Robusta Argopuro Jember?
3. Bagaimana pengaruh suhu terhadap pola sinyal aroma kopi robusta Argopuro menggunakan *gas sensor array*?
4. Bagaimana kinerja *gas sensor array* dalam mendeteksi aroma kopi robusta Argopuro?

### 1.3 Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakterisasi respon sensor tunggal terhadap aroma kopi Robusta Argopuro Jember
2. Mengetahui pola sinyal *gas sensor array* terhadap aroma kopi dari hasil penyeduhan sampel kopi Robusta Argopuro Jember.
3. Menentukan pengaruh suhu terhadap pola sinyal aroma kopi robusta Argopuro menggunakan *gas sensor array*.
4. Mempelajari kinerja *gas sensor array* dalam mendeteksi aroma kopi robusta Argopuro.

#### 1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif dalam deteksi aroma bubuk kopi menggunakan *gas sensor array* dengan aplikasi LabVIEW 2018 pada komputer/laptop.

#### 1.5 Batasan masalah

Penelitian ini memiliki beberapa batasan dalam perlakuannya, yaitu mengidentifikasi 1 jenis kopi bubuk (kopi robusta Argopuro), menggunakan suhu *roasting* sebesar 205-209 °C (*medium to dark*), serta menggunakan 5 jenis sensor gas. Jenis sensor yang dipakai diantaranya MQ-2, MQ-3, MQ-6, MQ-7, dan MQ-135. Susunan *sensor array* ditetapkan berdasarkan penelitian terhadap kopi Sidomulyo, yaitu secara berurutan (dimulai dengan sensor yang paling dekat dengan gas masuk) MQ-135, MQ-2, MQ-3, MQ-6, dan MQ-7. Selain itu sampel yang digunakan merupakan hasil penggilingan menggunakan *grinder* dengan skala 5 (<45 mesh).

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Definisi Kopi

Kopi merupakan salah satu komoditas daerah tropis yang telah diperdagangkan di seluruh dunia dengan kontribusi setengah dari total ekspor komoditas daerah tropis (Triyanti, 2016). Kopi memiliki daya tarik tersendiri karena memiliki rasa yang unik dan memiliki manfaat bagi tubuh konsumennya, salah satunya dapat meningkatkan kewaspadaan dan mengurangi rasa lelah. Hal ini dikarenakan di dalam kopi terdapat sumber kafein alami. Pada bulan Maret 2018, konsumsi kopi dunia mencapai 10,81 juta ton (ICO, 2018).

Kopi termasuk tanaman semak belukar dan termasuk dalam genus *Coffea* dengan famili *Rubiaceae*. Menurut Rahardjo (2012), genus *Coffea* mencakup hampir 70 spesies, tetapi hanya ada dua spesies yang ditanam secara luas di seluruh dunia dan sekitar 2% dari total produksi kopi dunia berasal dari dua spesies lainnya yang ditanam dalam skala terbatas, terutama di Afrika Barat dan Asia. Kopi yang ditanam dalam skala luas adalah kopi arabika (*Coffea arabica*) dan kopi robusta (*Coffea canephora*), sedangkan kopi yang ditanam dalam skala terbatas adalah kopi liberika (*Coffea liberica*) dan kopi ekselsa (*Coffea exelsa*). Kopi arabika didefinisikan pertama kali oleh Linnaeus pada tahun 1753 dan memberi nama ilmiah *Coffea arabica* karena dia mengira kopi berasal dari Arab. Taksonomi kopi secara lengkap adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Tracheobionta
Super divisi	: Spermatophyta
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Sub kelas	: Asteridae
Ordo	: Rubiales
Famili	: Rubiaceae
Genus	: Coffea

Spesies : *Coffea* sp. [*Coffea arabica* L. (kopi arabika), (*Coffea canephora* var. *robusta* (kopi robusta), *Coffea liberica* (kopi liberika), *Coffea exelsa* (kopi ekselsa)]

(Rahardjo, 2012).

Kopi memiliki jenis yang beragam, namun yang dikenal secara luas hanya 4 jenis. Menurut Rahardjo (2012), keempat jenis kopi tersebut adalah kopi arabika, kopi robusta, kopi liberika, dan kopi ekselsa. Kopi arabika dan kopi robusta memegang peranan penting dalam perdagangan kopi dunia. Kopi arabika memiliki cita rasa yang tinggi dan memiliki kandungan kafein yang rendah, sehingga harganya mahal. Namun, kopi arabika rentan terserang penyakit karat daun. Kopi robusta berada dibawah kopi arabika dari segi kualitasnya, memiliki kandungan kafein yang sedikit lebih banyak daripada kopi arabika. Namun, kopi robusta tahan terhadap penyakit karat daun. Oleh karena itu, perkebunan kopi robusta di Indonesia memiliki luas area terbesar dibandingkan luas area perkebunan kopi arabika (Rahardjo, 2012).

Menurut AAK (1988), tanaman kopi terdapat 3 jenis yang terkenal. Jenis kopi tersebut adalah sebagai berikut:

a. Kopi Arabika

Kopi arabika berasal dari pegunungan Ethiopia, Afrika. Menurut AAK (1988), kopi arabika di negara asalnya tumbuh baik secara alami di hutan-hutan pada dataran tinggi sekitar 1.500-2.000 dpl. Jenis kopi ini tersebar ke negeri Arab tahun 575 dan pada tahun 1450 kopi menjadi minuman sampai sekarang. Kopi arabika sebagai tanaman perdagangan sampai ke Pulau Jawa, Indonesia pada tahun 1699. Kopi arabika memiliki ciri-ciri sebagai berikut: berdaun kecil, halus mengkilat, panjang daun 12-15 cm, dan panjang buah 1,5 cm.

b. Kopi Robusta

Menurut AAK (1988), kopi robusta (*Canephora*) berasal dari hutan katulistiwa, Afrika dari pantai barat sampai Uganda. Kopi jenis ini dapat tumbuh dengan baik di wilayah 10° garis lintang Utara dan Selatan dan tinggi mencapai 1.500 m dpl. Kopi robusta tersebar ke seluruh daerah tropis sejak tahun 1900 dan tumbuh dengan baik di dataran rendah serta lebih resisten terhadap Hemileia

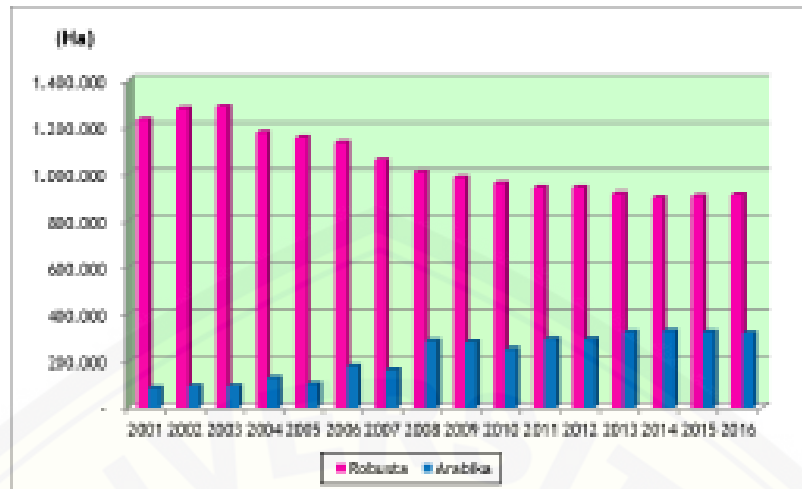
vastatrix dibandingkan kopi arabika. Namun, kopi robusta memiliki rasa yang kurang enak dibandingkan kopi arabika. Kopi robusta memiliki ciri-ciri sebagai berikut: berdaun besar, memiliki panjang daun lebih dari 20 x 10 cm bergelombang, serta panjang buah  $\pm 1,2$  cm.

#### c. Kopi Liberika

Kopi liberika berasal dari dataran rendah dekat Monrovia, Liberia. Menurut AAK (1988), kopi liberika cocok di dataran rendah yang beriklim panas dan basah, dapat tumbuh di tanah yang agak kurus, dan pemeliharaannya sederhana. Kopi jenis ini memiliki ciri-ciri sebagai berikut: memiliki daun lebar, besar, mengkilat, buah besar berukuran 2-3 cm, dan memiliki biji kecil. Penyebaran kopi liberika berlangsung dalam waktu yang singkat. Hal ini dikarenakan kopi liberika rentan terhadap *Hemileia vastatrix*. Sehingga produksi kopi liberika yang diperdagangkan secara Internasional kurang dari 1 % dari total kopi yang diperdagangkan.

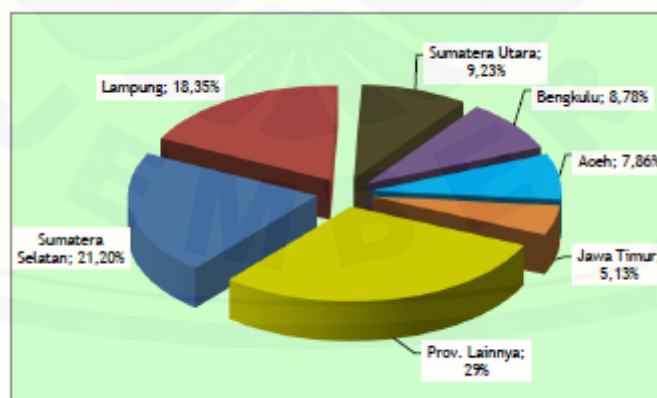
#### 2.1.1 Persebaran Kopi robusta di seluruh Indonesia

Jenis kopi yang banyak ditanam di Indonesia adalah kopi jenis arabika dan robusta. Namun, kopi jenis robusta memiliki luas area perkebunan yang lebih luas dibandingkan dengan kopi jenis arabika. Hal ini dikarenakan kopi robusta resisten terhadap *Hemileia vastatrix*, sehingga mudah dipelihara dan harganya lebih murah dibandingkan kopi arabika. Selain itu kopi robusta juga memiliki cita rasa yang tak kalah khas dengan kopi arabika. Menurut Triyanti (2016), mayoritas perkebunan kopi di Indonesia menanam kopi jenis robusta, meskipun luas area kopi robusta cenderung menurun dibandingkan luas area arabika yang cenderung meningkat. Data luas area kopi di Indonesia berdasarkan jenis kopi disajikan dalam grafik pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Perkembangan Luas Area Kopi menurut Jenis Kopi, Tahun 2001-2016  
(Sumber : Triyanti, 2016)

Perkebunan kopi robusta di Indonesia terpusat di 5 provinsi dengan kontribusi sebesar 74,13 % terhadap produksi kopi robusta Indonesia (Triyanti, 2016). Lima sentra produksi tersebut ialah Lampung, Sumatra Selatan, Bengkulu, Jawa Timur, dan Sumatra Barat. Provinsi Sumatra Selatan merupakan provinsi yang kontribusinya terbesar dalam memproduksi kopi robusta yaitu sebesar 21,20 % atau sekitar 137.780 ton produksi per tahun. Data produksi kopi robusta pada lima sentra provinsi tahun 2012-2016 ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Produksi Kopi Robusta pada Lima Sentra Produksi pada Tahun 2012-2016  
(Sumber: Triyanti, 2016)

Kopi memiliki komposisi kimia yang beragam sesuai dengan jenis kopinya, sehingga masing-masing jenis kopi memiliki keunikan tersendiri.

Menurut Rabersyah, dkk (2016), komposisi kimia biji kopi robusta berbeda dengan jenis kopi yang lain, termasuk kopi arabika. Komposisi kimia yang dikandung oleh biji kopi robusta dan biji kopi arabika disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia Biji Kopi Robusta dan Biji Kopi

<b>Komponen</b>	<b>Kopi arabika</b>	<b>Kopi robusta</b>
Mineral	3,0-4,2	4,0-4,5
Kafein	0,9-1,2	1,6-2,4
Polisakarida	50,00-55,00	37,0-47,0
Lipid	12,0-18,0	9,0-13,0
Asam klorogenat	5,5-8,0	7,0-10,0
Asam amino	2,0	2,0
Protein	11,0-13,0	11,00-13,00
Asam humin	-	16,0-17,0

(Sumber : Rabersyah, dkk, 2016)

Selain itu, kopi juga memiliki aroma yang khas sesuai dengan komposisi senyawa volatil yang dikandungnya. Secara umum, senyawa volatil yang terkandung dalam biji kopi adalah piridin, 2-metilpirazin, 2,5-dimetilpirazin, 2,6-dimetilpirazin, 2-etil-6-metilpirazin, 2-etil-5-metilpirazin, 2-furankarboksildehida, 2-furanmetanol, 5-metilfurfural, 2-metoksifenol, 2-metoksi-4-vinilfenol, 4-etil-2-metoksifenol, pirol, maltol, dan asam asetat (Rodrigues *et al*, 2012). Aroma biji kopi awalnya dapat diidentifikasi dengan melibatkan beberapa partisipan (*human tester*) sebagai *quality control*. Identifikasi aroma kopi dengan cara ini dinilai sangat subjektif karena setiap partisipan memiliki standar penilaian yang berbeda dengan partisipan yang lain mengenai aroma kopi. Sehingga, hasil pendeskripsian aroma kopi dinilai tidak valid dan sulit untuk menetapkan standar aroma kopi yang sesuai (Rodríguez *et al*, 2010). Aroma biji kopi juga dapat diidentifikasi senyawa yang terkandung di dalamnya dengan GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*). Alat ini mampu mengidentifikasi jenis dan kuantitas gas yang dihasilkan. Namun, penggunaan alat ini membutuhkan biaya yang cukup besar dan membutuhkan tenaga ahli untuk



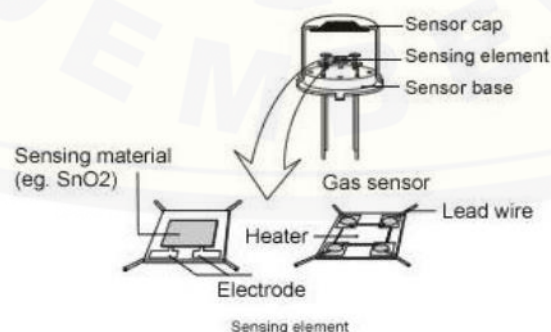
menganalisisnya. Oleh karena itu, dengan berkembangnya teknologi dan informasi berkembanglah *electronic nose* atau sensor gas yang dapat mendeteksi aroma kopi.

## 2.2 Sensor Gas

### 2.2.1 Definisi

Sensor merupakan pintu masuk signal atau besaran fisik dan diproses di dalam piranti pengukuran atau sistem pengendalian (Sakti, 2017). Menurut Sakti (2017), sensor terletak pada bagian terdepan dalam keseluruhan proses untuk mendapatkan besaran fisis, kimiawi, atau biologis dari objek menjadi suatu informasi. Sensor memiliki berbagai macam jenis sesuai dengan kebutuhan, salah satunya sensor gas. Sensor gas merupakan suatu alat yang dapat menangkap signal analog gas dan mengubahnya menjadi signal digital berupa signal listrik sehingga mampu mengidentifikasi suatu gas, termasuk gas atau uap senyawa kimia (Rabersyah, dkk, 2016).

Struktur lapisan sensor berbasis semikonduktor,  $\text{SnO}_2$  dapat ditunjukkan pada Gambar 2.3. Struktur sensor terdiri dari 3 bagian, yaitu tutup sensor (*sensor cap*), elemen penginderaan (*sensing element*), dan dasar sensor (*sensor base*). Pada elemen penginderaan terdapat lapisan tipis yang sensitif terhadap gas ( $\text{SnO}_2$ ), elektroda dan pemanas yang terbuat dari bahan koil Platina (Pt), dan kawat timah (Hasibuan dkk., 2016).



Gambar 2. 3 Struktur Sensor Gas (*Sumber: Rabersyah dkk., 2016*)

### 2.2.2 Prinsip kerja dari gas sensor

Sensor gas secara kimia tersusun atas bahan detektor dari oksida logam semikonduktor (*Metal Oxide Semi-conductors*, MOS), seperti SnO<sub>2</sub> (Timah(IV) oksida), ZnO<sub>2</sub> (Zink(IV) oksida), TiO<sub>2</sub> (Titanium(VI), dan WO<sub>3</sub> (Tungsten(VI) oksida). Bahan detektor SnO<sub>2</sub> (Timah(IV) oksida) telah banyak digunakan dan diaplikasikan untuk membuat *array* pengukuran gas atau aroma dibandingkan bahan detektor yang lain karena telah tersedia secara komersial (Berna, 2010). Selain itu, bahan detektor SnO<sub>2</sub> memiliki kelebihan yaitu masa pemakaian yang lama dan relatif stabil, memiliki resistensi yang baik terhadap *corrosive gases* biaya produksi yang relatif murah, dimensi kecil, mudah perawatannya, dan memiliki daya serap yang baik (Hermida dkk., 2013).

Menurut Hermida dkk. (2013), sinyal respon pada umumnya ditentukan berdasarkan jenis material sensor dan gas yang diidentifikasi dengan sensor. Gas yang diidentifikasi dengan sensor digolongkan menjadi gas pengoksidasi dan gas pereduksi, sedangkan untuk jenis material sensor dapat diklasifikasikan menjadi material tipe-p atau tipe-n sesuai dengan respon sinyalnya (Hermida dkk., 2013). Pada material tipe-p memiliki nilai resistansi yang akan bertambah ketika bereaksi dengan gas pereduksi dan resistansi akan berkurang terhadap gas pengoksidasi. Hal ini berlaku sebaliknya untuk material tipe-n (Hermida dkk., 2013). Penandaan tipe n dan p menunjukkan pembawa muatan terbanyak pada material. Tipe n adalah bahan semi-konduktor, yang dialiri dengan atom yang mampu menyediakan elektron konduksi tambahan untuk bahan semikonduktor itu sendiri. Hal ini menyebabkan kelebihan muatan elektron negatif (tipe n). Semi-konduktor tipe p (p untuk positif) diperoleh dengan melakukan proses doping, yaitu menambahkan jenis atom tertentu (katalis) ke semi-konduktor untuk meningkatkan jumlah operator muatan positif. Peningkatan resistensi untuk oksida logam tipe p ditemukan dengan adanya reduksi gas, sementara resistansi menurun sebagai respon terhadap gas pengoksidasi, berlaku sebaliknya untuk Oksida logam tipe n. Contoh oksida logam tipe n adalah SnO<sub>2</sub> dan WO<sub>3</sub>, sedangkan oksida logam tipe-p adalah CTO (Berna, 2010).

### 2.2.3 Jenis gas sensor

Jenis gas sensor mayoritas tidak spesifik terhadap satu jenis senyawa. Gas sensor dapat mendeteksi gas sampel berdasarkan sifat volatil gas dengan gugus fungsi yang berbeda, semakin volatil sifat suatu gas maka semakin mudah terdeteksi. Jenis gas sensor telah banyak dikembangkan, salah satunya jenis MQ. Jenis gas sensor MQ dan kepekaannya terhadap suatu senyawa disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Jenis Gas Sensor MQ dan Kepekaannya terhadap Senyawa

Jenis sensor	Keterangan
MQ-2	Sensitif terhadap gas metana, butana, LPG, dan asap rokok.
MQ-3	Sensitif terhadap alkohol, etanol, dan asap rokok.
MQ-6	Sensitif terhadap gas LPG dan butana.
MQ-7	Sensitif terhadap gas CO.
MQ-135	Sensitif terhadap benzena, alkohol, dan asap rokok.

(Sumber: Kadir, 2016)

#### a) Sensor gas MQ-2

Sensor gas MQ-2 tersusun atas material sensitif,  $\text{SnO}_2$  yang memiliki konduktivitas rendah terhadap udara bersih. Konduktivitas sensor akan meningkat seiring meningkatnya konsentrasi gas volatil yang mengenai permukaan sensor. Sensor gas MQ-2 memiliki kepekaan yang tinggi terhadap LPG, propana, metana, hidrogen, dan gas volatil lainnya (Sensors, 2018). Modul sensor gas MQ-2 dapat ditunjukkan pada Gambar 2.4 seperti di bawah ini.



Gambar 2. 4 Modul sensor MQ-2 (Sumber: Samudera dan Sugiharto, 2018)

b) Sensor gas MQ-3

Sensor gas MQ-3 tersusun atas material sensitif,  $\text{SnO}_2$  yang memiliki konduktivitas rendah terhadap udara bersih. Konduktivitas sensor akan meningkat seiring meningkatnya konsentrasi gas alkohol yang mengenai permukaan sensor. Sensor gas MQ-3 memiliki kepekaan yang tinggi terhadap alkohol (Sensors, 2018). Modul sensor gas MQ-3 dapat ditunjukkan pada Gambar 2.5 seperti di bawah ini.



Gambar 2. 5 Modul Sensor MQ-3 (Sumber: Latupeirissa dkk., 2015)

c) Sensor gas MQ-6

Sensor gas MQ-6 tersusun atas material sensitif,  $\text{SnO}_2$  yang memiliki konduktivitas rendah terhadap udara bersih. Sensor gas MQ-6 memiliki kepekaan yang tinggi terhadap gas LPG (*Liquified Petroleum Gas*), isobutana, dan propana. Namun, memiliki kepekaan yang rendah terhadap gas alkohol dan asap rokok (Sensors, 2018). Modul sensor ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Modul sensor MQ-6 (Sumber: Heriyanto dkk., 2015)

d) Sensor gas MQ-7

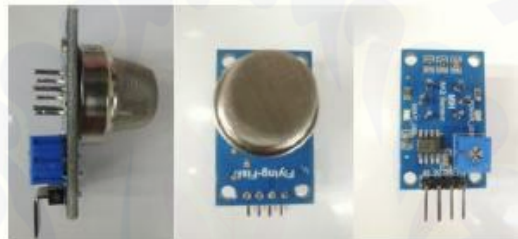
Sensor gas MQ-7 tersusun atas material sensitif,  $\text{SnO}_2$  yang memiliki konduktivitas rendah terhadap udara bersih. Konduktivitas sensor akan meningkat seiring meningkatnya konsentrasi gas yang mengenai permukaan sensor. Sensor gas MQ-7 memiliki kepekaan yang tinggi terhadap karbon monoksida. Modul MQ-7 dapat ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 6 Modul Sensor MQ-7 (*Sumber: Sebayang, 2017*)

e) Sensor gas MQ-135

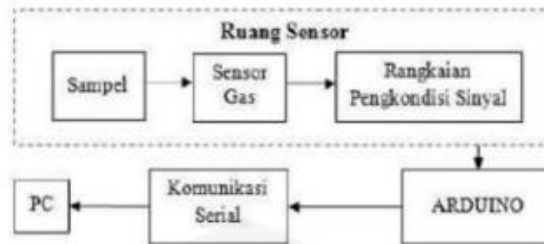
Sensor gas MQ-135 tersusun atas material sensitif,  $\text{SnO}_2$  yang memiliki konduktivitas rendah terhadap udara bersih. Sensor gas MQ-135 memiliki kepekaan yang tinggi terhadap gas  $\text{NH}_3$ , alkohol, benzena, asap rokok,  $\text{CO}_2$ , dan sebagainya. Modul sensor MQ-135 dapat ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 7 Modul Sensor MQ-135 (*Sumber: Sebayang, 2017*)

### 2.3 Gas sensor array

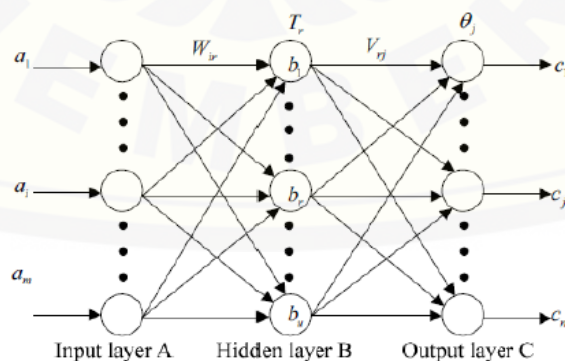
*Gas sensor array* merupakan gabungan dari beberapa sensor gas yang dapat digunakan untuk mendeteksi suatu gas atau aroma yang dihasilkan oleh suatu sampel. *Gas sensor array* memiliki beberapa komponen yaitu diantaranya detektor, penganalisa, monitor atau sistem mikrokontroler. *Gas sensor array* melibatkan metode jaringan saraf tiruan *backpropagation* yang memiliki tiga lapisan. Tiga lapisan tersebut diantaranya lapisan input, lapisan tersembunyi (*hidden*), dan lapisan output dimana masing-masing lapisan tersebut terdiri dari beberapa unit. Sistem jaringan saraf tersebut harus melewati beberapa tahap pelatihan agar pola input dan pola output dapat teratur. Sensor gas array dapat berupa susunan sensor gas yang sejenis tapi beda tipe atau susunan sensor gas tak sejenis. Sensor gas array yang telah banyak berkembang adalah sensor gas array TGS dan AF. Rancangan dasar sensor array digambarkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 8 Desain Sensor Array Sederhana (Kadir, 2016)

Metode *backpropagation* merupakan jaringan multilayer umpan maju yang tersusun atas neuron non-linear. Menurut Rabersyah dkk (2016), *backpropagation* melatih jaringan untuk mendapatkan keseimbangan antara kemampuan jaringan untuk mengenali pola yang digunakan selama pelatihan. Pelatihan *backpropagation* tersebut meliputi 3 fase. Fase pertama adalah fase maju. Pola input menggunakan fungsi aktivasi yang ditentukan. Fase kedua adalah fase mundur. Selisih antara jaringan output dengan target yang diinginkan merupakan error yang terjadi. Error tersebut ditransmisi mundur, dimulai dari garis yang berhubungan langsung dengan unit-unit di lapisan output. Fase ketiga adalah modifikasi bobot untuk menurunkan kesalahan yang terjadi. Setelah pelatihan selesai dilakukan, jaringan dapat dipakai untuk pengenalan pola (Rabersyah dkk, 2016).

Struktur Jaringan multilayer terdiri atas lapisan input A dan lapisan output C serta lapisan B yang tersembunyi dalam struktur jaringan (seperti pada Gambar 2.10).



Gambar 2. 9 Struktur *backpropagation neural network* (Sumber : Kaushal and Mohanty, 2016)

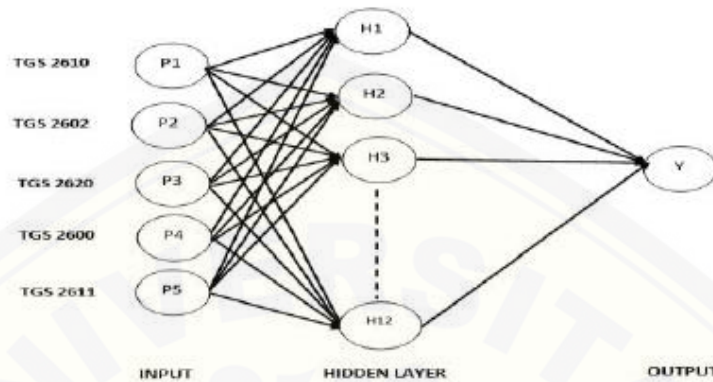
Sinyal input merambat dari node layer input dan melewati setiap node layer tersembunyi (dalam urutan yang benar), kemudian ke node output. Setiap layer node hanya mempengaruhi output dari node layer berikutnya. Pada Gambar 2.10,  $m$  dan  $n$  menunjukkan jumlah sensor dan konsentrasi gas masing-masing. Istilah “ $u$ ” menunjukkan jumlah neuron dalam lapisan tersembunyi.  $W_{ir}$  dan  $V_{rj}$  menunjukkan bobot menghubungkan dari  $a_i$  ke  $b_r$  dan dari  $b_r$  ke  $c_j$  dimana  $T_r$  dan  $\theta_j$  menunjukkan ambang node lapisan tersembunyi dan lapisan output masing-masing. Bobot dan ambang diperbarui berulang kali hingga error tercapai, dimana perbedaan antara target dan perkiraan konsentrasi diminimalkan. Ketika error tercapai akan dilakukan modifikasi bobot dan selanjutnya jaringan dapat digunakan untuk memperkirakan konsentrasi gas yang tidak diketahui (Kaushal dan Mohanty, 2016).

#### 2.4 Pengembangan Penelitian

Sensor gas array telah diteliti oleh beberapa orang, baik di Indonesia maupun di luar negeri. Sensor gas array yang telah berkembang digunakan untuk pendeteksian formalin pada bahan makanan, kopi Columbia, analisis makanan, dan kualitas bawang. Pendeteksian formalin pada makanan dilakukan oleh Regeista *et al.* (2014), menggunakan dua sensor TGS 2600 dan TGS 2611, kemudian diproses dengan bantuan mikrokontroler yang diperkuat oleh amplifier. Alat pendeteksi tersebut dinamakan *Digital Formaldehyde Meter* yang juga dilengkapi dengan *Analog to Digital Converter* (ADC) sebagai pengubah signal analog ke signal digital. Pengujian sampel dilakukan sebanyak 3 kali ulangan dan diperoleh hasil yang maksimal. Hasil pengujian diperoleh informasi mengenai keefektifan alat rata-rata sebesar 97,06 % dan erorr pada alat rata-rata sebesar 2,93%.

Pendeteksian formalin pada bahan makanan juga pernah dilakukan terutama pada tahu oleh Astuti dkk (2016) dengan menggunakan lima sensor gas, yaitu TGS 2610, TGS 2620, TGS 2611, TGS 2602, dan TGS 2600. Astuti dkk (2016) menggunakan sampel tahu yang diuji secara acak (80 data) dapat diidentifikasi dengan baik (100 %) oleh rancangan *electronic nose* miliknya dengan MSE

$9,6374 \times 10^{-3}$ . Rancangan *electronic nose* milik Astuti dkk (2016) disajikan pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 10 Rancangan Topologi JST untuk Tahu Murni dan Berformalin (Sumber: Wida astuti, dkk, 2016)

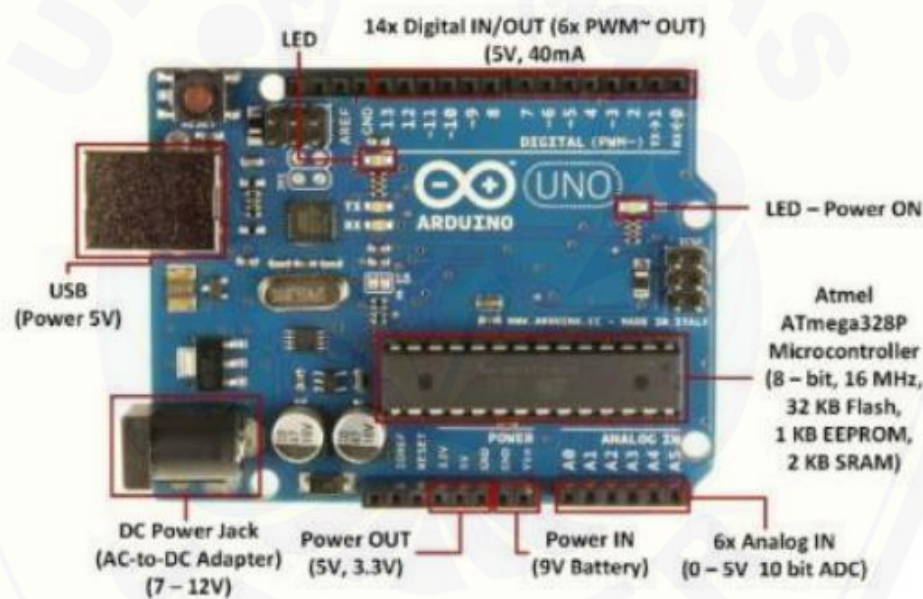
Menurut Herawaty dkk (2011), dengan menggunakan jenis sensor gas yang sama untuk mendeteksi cumi-cumi segar, berformalin, tanpa formalin, dan busuk diperoleh keakuratan sensor TGS 2610, TGS 2620, TGS 2611, TGS 2602, dan TGS 2600 sebesar 93 %. Sehingga *electronic nose* milik Herawaty dkk (2011) mampu mendeteksi cumi-cumi segar, berformalin, tanpa formalin, dan busuk dengan baik.

Penelitian sebelumnya mengenai kopi luwak Filipina pernah dilakukan oleh Ongo, *et al* (2015). Dalam penelitiannya, instrumen E-nose didasarkan pada enam sensor array semikonduktor oksida logam (SMO). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa keenam sensor memberikan tanggapan yang berbeda terhadap kopi luwak dan kopi non-luwak (kontrol) dari sumber yang berbeda. Analisis komponen utama (PCA) dan analisis *cluster Heirarchical* (HCA) mendeskripsikan signal kopi luwak yang terpisah secara jelas dari signal biji kontrol mereka. Pemisahan gugus di antara sampel kopi luwak menunjukkan bahwa asal geografis memberikan variasi aroma dan rasa dalam kopi. Kinerja luar biasa dari E-nose untuk mengenali kopi luwak dan kopi non-luwak dibuktikan dengan peningkatan kemampuan yang signifikan dalam membedakan antar sampel yang berbeda yaitu sebesar 72,76 % (Ongo, *et al*, 2015).



## 2.5 Modul Arduino Uno

Arduino Uno merupakan sebuah papan mikrokontroler berbasis Atmega328 (Sebayang, 2017). Atmega328 adalah chip mikrokontroler 8-bit berbasis AVR-RISC buatan Atmel yang memiliki 32 KB memori ISP flash dengan kemampuan baca-tulis (*read/write*), 1 KB EEPROM dan 2 KB SRAM (Handoko, 2017). Arduino tersusun atas 14 pin digital input/output, 6 input analog, sebuah osilator kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB (*Universal Serial Bus*), sebuah *power jack*, sebuah ICSP (*In Circuit Serial Programming*) header, dan sebuah tombol reset. Penampang Arduino Uno dapat dilihat pada Gambar 2.12. Arduino Uno memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang mikrokontroler dan mudah dihubungkan ke komputer dengan sebuah kabel USB (Sebayang, 2017).



Gambar 2. 11 Modul Arduino UNO (Sumber: Handoko, 2017)

## 2.6 LabVIEW 2018

LabVIEW merupakan bahasa pemrograman berbasis grafis atau blok. *Software* LabVIEW dikenal dengan VI (*Virtual Instruments*) karena dalam operasinya menampilkan instrumen sebenarnya dalam bentuk simbol-simbol (Wardoyo dkk., 2013). Menurut Wardoyo dkk. (2013) *software* LabVIEW terdiri dari tiga komponen utama, yaitu:

- ❖ *Front panel* merupakan sebuah lembar kerja yang digunakan untuk menggambarkan simbol-simbol *virtual instrumen*.
- ❖ *Block diagram* adalah sebuah jendela yang digunakan untuk menuliskan perintah dan fungsi. *Block diagram* berisi *source code* berupa simbol-simbol, *node* dan garis sebagai *data flow* untuk mengeksekusi program.
- ❖ *Function palette* dan *control panel*. *Function palette* digunakan untuk membuat blok diagram. Sedangkan *control palette* digunakan untuk menambah kontrol dan indikator pada *front panel*.

Labview dapat digunakan untuk merancang instrumen virtual pada layar komputer dan berfungsi untuk mengoperasikan program instrumentasi, mengendalikan hardware, menganalisa data, dan menampilkan hasil (Hidayat, 2015).

## 2.7 Teknik preparasi sampel

Sensor gas dapat dipengaruhi kinerjanya salah satunya oleh teknik persiapan sampel. Teknik persiapan sampel berkaitan dengan teknik *roasting* dan *blending* serta suhu yang digunakan saat *roasting* maupun *blending*. Teknik *roasting* merupakan suatu teknik persiapan dengan cara dipanggang setelah dilakukan proses sangrai pada kopi (Madiah dkk., 2012). Teknik *roasting* pada kopi dimaksudkan untuk mengembangkan aroma sehingga sensor mampu mendeteksi aroma secara optimal. Senyawa aromatik kopi terbentuk oleh beberapa reaksi yang terjadi selama *roasting*, seperti reaksi Maillard, degradasi Strecker, degradasi gula, dan pemecahan asam amino. Teknik ini dipengaruhi oleh suhu dan waktu *roasting* dan akan mempengaruhi penguapan senyawa yang bersifat volatil. Menurut Madiah dkk. (2012), suhu optimal *roasting* untuk biji kopi arabika adalah 167,68 °C selama 22,50 menit.

### BAB 3. METODOLOGI PERCOBAAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Analitik dan Kimia Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember mulai bulan Desember 2018 sampai Mei 2019.

#### 3.2 Metode Penelitian

##### 3.2.1 Alat dan Bahan

###### a. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: *hotplate*, laptop yang telah terinstall *software* LabVIEW 2018, spatula, neraca analitik, sensor gas MQ-3, sensor gas MQ-7, sensor gas MQ-6, sensor gas MQ-2, sensor gas MQ-135, termometer, *grinder*, pompa, Arduino Uno, *beaker glass*, kabel jamper, selang, modul arduino uno, *breadboard*, stirer, dan anak stirer.

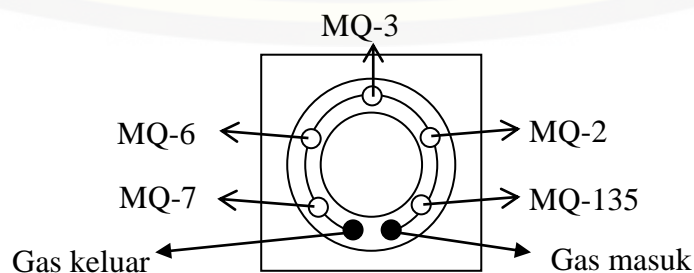
###### b. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kopi robusta Argopuro desa Karangring-Sukorambi-Jember dan air merk “Aqua”.

##### 3.2.2 Diagram Alir Penelitian

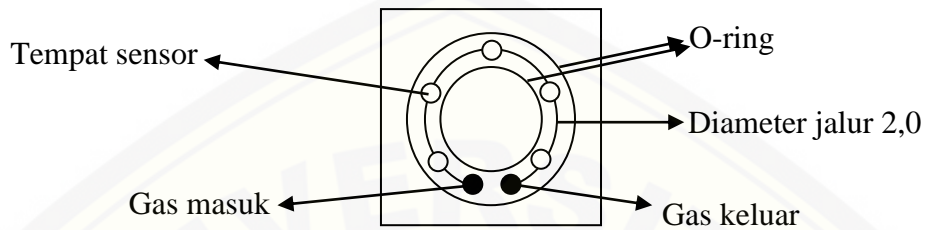
###### a. Desain alat

Desain alat pada percobaan ini terdiri dari sensor yang disusun pada material akrilik dan alat laboratorium penunjang penelitian. Sensor gas yang berjumlah lima disusun rapi secara melingkar pada material akrilik ditunjukkan pada Gambar 3.1.



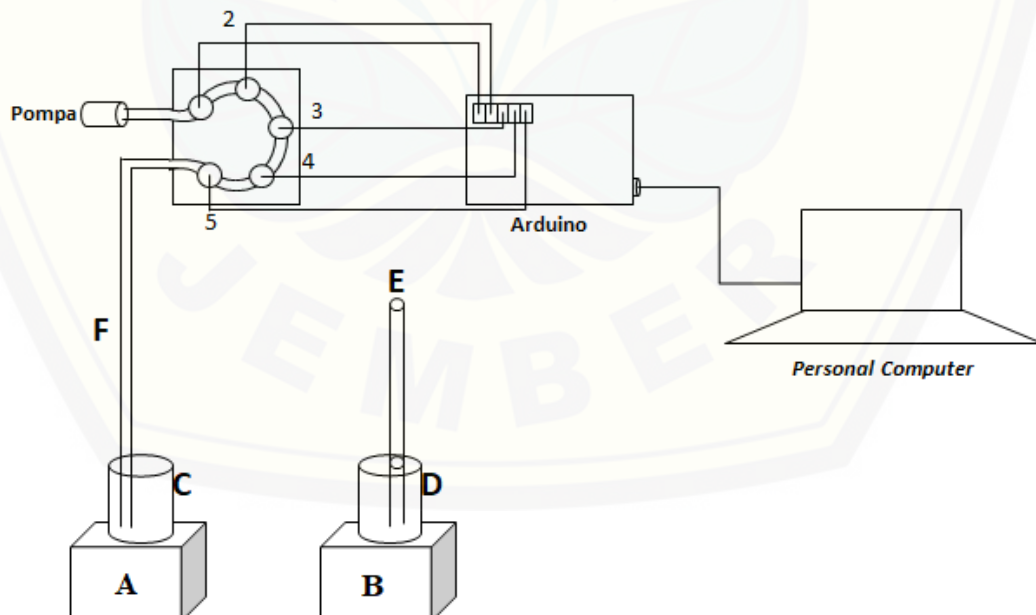
Gambar 3. 1 Susunan Sensor pada Media Akrilik

Material akrilik telah dilengkapi dengan area untuk aliran gas aroma kopi yang telah terhubung dengan pompa dan sampel. Desain alat pada material akrilik dapat dilihat pada Gambar 3.2. Desain alat tersebut dilengkapi dengan o-ring untuk menghambat kebocoran gas aroma dari material akrilik.



Gambar 3. 2 Desain Alat pada Material Akrilik

Kelima sensor gas dihubungkan dengan arduino yang telah dihubungkan dengan *personal computer* melalui program Labview 2018. Sedangkan alat laboratorium penunjang penelitian ini berupa beaker, termometer, pompa vakum, Arduino Uno, *beaker glass*, selang, batang pengaduk, stirer, dan anak stirer. Alat laboratium penunjang penelitian disusun sedemikian rupa dengan sensor dan *Personal Computer* seperti pada Gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar 3. 3 Desain Alat Percobaan

Keterangan:

A : *Stirer*

B : *Hotplate*

C : Beaker sampel

D : Beaker air panas

E : Termometer

F : Selang

1 : Gas Sensor MQ-2

2 : Gas Sensor MQ-3

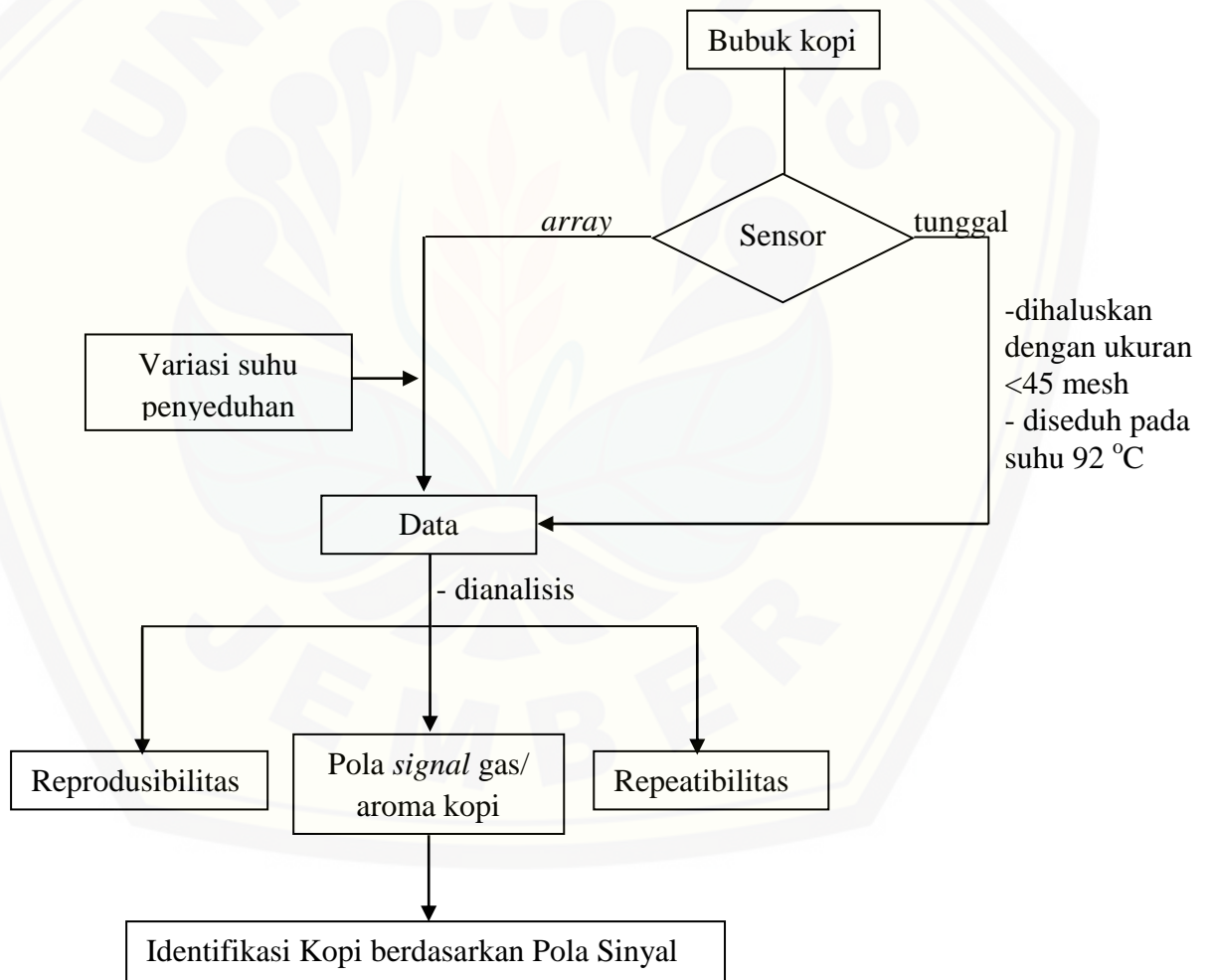
3 : Gas Sensor MQ-6

4 : Gas Sensor MQ-7

5 : Gas Sensor MQ-135

Port analog merupakan port analog Arduino Uno yang digunakan untuk memasukkan signal analog sensor dan telah terhubung dengan software Labview pada *Personal Computer*.

b. Diagram alir



### 3.2.3 Skema Kerja

#### a. Persiapan sampel (Bubuk Kopi Argopuro)

Sampel berupa kopi Argopuro Jember yang kering kemudian disangrai dengan suhu 205-209 °C. Sampel kemudian digiling dengan menggunakan *grinder* dengan skala 5 (<45 mesh). Sampel bubuk kopi Argopuro sebanyak 7,5 gram diletakkan pada wadah sampel berupa *beaker glass* dan diseduh dengan menggunakan air panas sebanyak 135 mL. Campuran diaduk beberapa saat dan dibiarkan gas mengalir ke *gas sensor* untuk diidentifikasi.

#### b. Suhu pemanasan air

Pemanasan air dilakukan di atas *hotplate* dengan suhu selalu dipantau menggunakan termometer sampai dengan suhu yang diinginkan, yaitu 75, 80, 85, 92, 95 °C.

#### c. Pendeteksian aroma gas bubuk kopi Argopuro dengan *sensor array gas*

Pendeteksian aroma gas dimulai ketika suhu air sudah mencapai suhu yang diinginkan. Air panas dengan suhu yang diinginkan dialirkan ke dalam sampel dan dilakukan sedikit pengadukan agar campuran homogen. Pendeteksian aroma dibantu dengan pompa yang dapat menarik aroma gas mendekati pada gas sensor. Pendeteksian aroma dimulai dengan sensor tunggal untuk mengenali respon sinyal dari masing-masing sensor. Pendeteksian aroma dengan sensor tunggal dapat menjadi acuan dalam menyusun *sensor array*. Pendeteksian aroma dilanjutkan dengan menggunakan kelima sensor yang telah disusun.

#### d. Pengenalan pola

Pengenalan pola aroma gas akan dideteksi oleh sensor gas berupa signal konduktivitas dan akan terbaca pada laptop berupa signal tegangan. Signal akan dibaca oleh *software* Labview pada *Personal Computer*.

#### e. Metode analisa signal

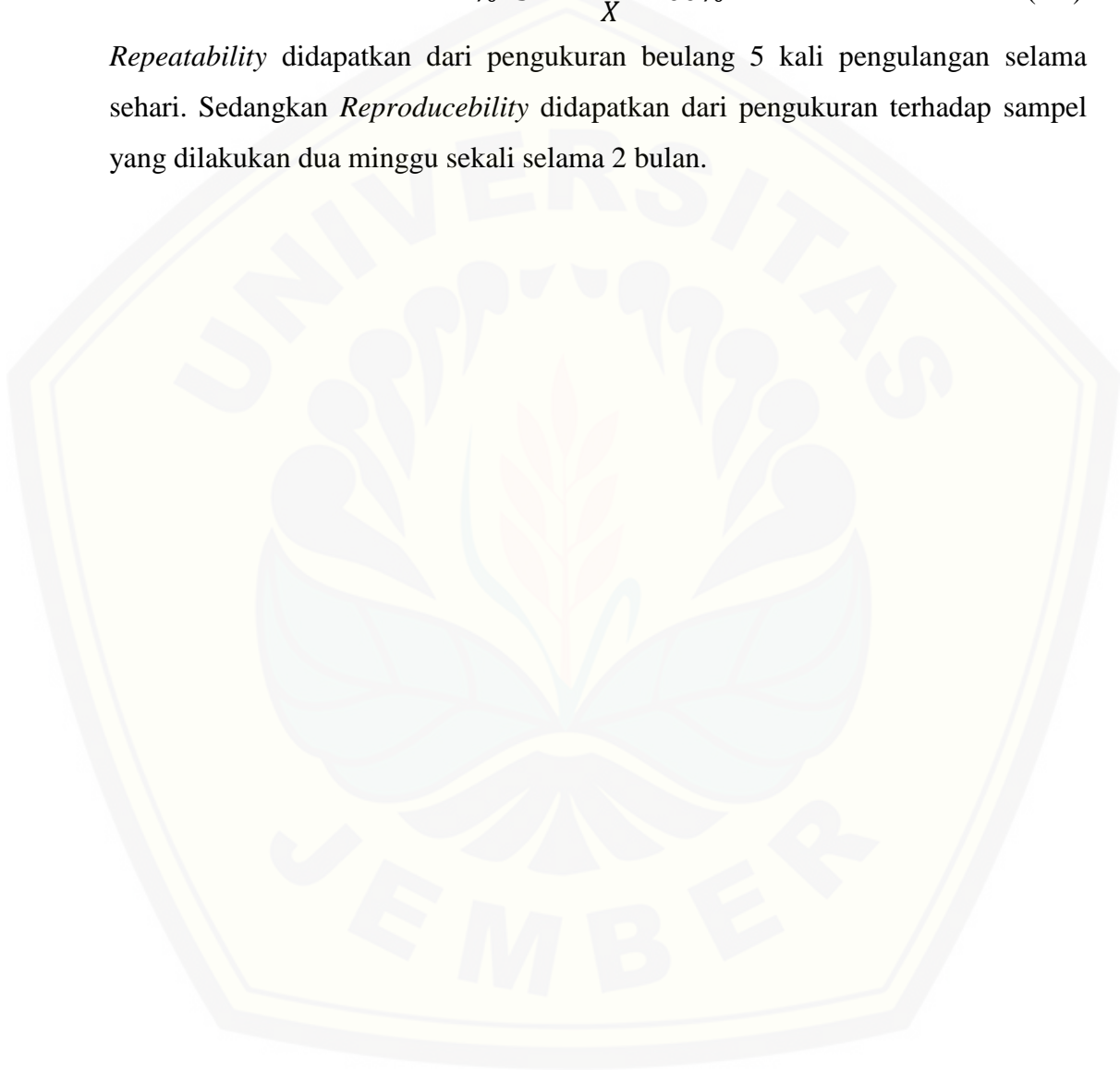
Analisa signal hasil respon dari *gas sensor array* dilakukan dengan melihat pola signal *gas sensor array* pada berbagai variasi suhu. Pola signal yang didapat dari masing-masing sensor tunggal dijadikan acuan dalam menyusun *gas sensor array*. Analisa sampel dihitung nilai *repeatability* dan *reproducibility*

dengan menggunakan persamaan matematis standar deviasi seperti persamaan 3.1 berikut ini:

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

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

*Repeatability* didapatkan dari pengukuran berulang 5 kali pengukuran selama sehari. Sedangkan *Reproducebility* didapatkan dari pengukuran terhadap sampel yang dilakukan dua minggu sekali selama 2 bulan.



## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang dilakukan, dapat ditarik suatu kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakterisasi respon sensor tunggal terhadap aroma kopi Robusta Argopuro Jember diperoleh respon sensor MQ-7 paling tinggi (2,45V), sedangkan respon sensor MQ-2 paling rendah (0,67V). Sensor MQ-3 dan MQ-6 memiliki respon yang hampir sama yaitu 1,29V dan 1,34V, sedangkan nilai tegangan sensor MQ-135 lebih rendah dari respon sensor MQ-3 dan MQ-6 yaitu 1,02V.
2. Pola sinyal *gas sensor array* terhadap aroma kopi dari hasil penyeduhan sampel kopi Robusta Argopuro Jember yaitu sensor MQ-135, MQ-6, dan MQ-7 menghasilkan respon yang paling tinggi dan memiliki nilai tegangan hampir sama berturut-turut 1,49V, 1,50V, dan 1,49V. Sedangkan sensor MQ-3 memiliki respon yang paling rendah dengan nilai tegangan sebesar 0,93V. Sensor MQ-2 memiliki respon yang sedikit lebih tinggi dari sensor MQ-3 dengan nilai tegangan 1,26V.
3. Nilai tegangan *gas sensor array* terhadap aroma kopi dipengaruhi oleh suhu penyeduhan dimana semakin tinggi suhu, maka akan semakin tinggi respon *gas sensor array*.
4. Kinerja *gas sensor array* dalam mendeteksi aroma kopi robusta Argopuro bekerja dengan baik pada minggu pertama dan ke-2.

### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian dan analisa yang dilakukan, saran penulis sebaiknya memperhatikan penyimpanan bubuk kopi yang akan diuji, penyimpanan sensor, dan temperatur yang dilakukan dalam penelitian. Penyimpanan bubuk kopi disarankan untuk diperhatikan lama penyimpanannya atau tidak lebih dari dua minggu. Pengaturan temperatur dapat menggunakan *thermostat* agar suhu dapat dikontrol dengan tepat. Penelitian selanjutnya



diharapkan memperhitungkan pengaruh kelembaban udara terhadap kinerja *gas sensor array*.



**DAFTAR PUSTAKA**

- AAK. 1988. *Budidaya Tanaman Kopi*. Yogyakarta: Kanisius.
- Astuti, W., D. Lenono, dan F. Faizah. 2016. Identifikasi tahu berformalin dengan electronic nose menggunakan jaringan syaraf tiruan backpropagation. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*. 6(2):211.
- Berna, A. 2010. Metal oxide sensors for electronic noses and their application to food analysis. *Sensors*. 10(4):3882–3910.
- Handoko, P. 2017. Sistem kendali perangkat elektronika monolitik berbasis arduino uno r3. (November):1–2.
- Hasibuan, A. A., E. Yusibani, dan M. S. Surbakti. 2016. Studi pengaruh konsentrasi kadar gas hidrogen terhadap tegangan dan resistansi menggunakan sensor gas hidrogen berbasis semikonduktor. *Journal of Aceh Physics Society (JAcPS)*. 5(1):17–21.
- Herawaty, B. L., M. Rivai, F. Kurniawan, dan Suprpto. 2011. KIMIA analitik (kode : b-07 ) isbn : 978-979-1533-85-0 desain perangkat electronic nose sebagai alat pendeteksi formalin dalam bahan makanan. *Prosiding*. 181–189.
- Heriyanto, A., M. Subito, dan Y. Yudhaswana. 2015. Rancang bangun alat pendeteksi kebocoran gas dengan indikator alarm nirkabel. *Jurnal Ilmiah Oristek*. 5(1):430–435.
- Hermida, I. D. P., P. Sinaga, dan G. Soleha. 2013. Karakterisasi sensor gas co berbasis bahan sno 2 dengan metoda solgel menggunakan teknologi film tebal. *Jurnal Elektronika Dan Telekomunikasi*. 13:60–65.
- Hidayat, T. 2015. Penggunaan labview untuk simulasi sistem kontrol keamanan rumah. 7(1):90–95.

- Kaushal, P. dan N. R. Mohanty. 2016. Gas sensor array for quantitative detection of gas mixture. 2:3–6.
- Latupeirissa, D., V. A. Suoth, dan H. S. Kolibu. 2015. Rancang bangun alat ukur suhu dan kadar alkohol menggunakan sensor lm35 dan sensor mq-3. *Jurnal Ilmiah Sains*. 15(2):82–87.
- Madihah, K. Y. K., A. H. Zaibunnisa, S. Norashikin, O. Rozita, dan J. Misnawi. 2012. Optimization of roasting conditions for high-quality arabica coffee. *International Food Research Journal*. 4(4):209–214.
- Rabersyah, D., Firdaus, dan Derisma. 2016. Identifikasi jenis bubuk kopi menggunakan electronic nose. 5(3):332–338.
- Rahardjo, P. 2012. *Panduan Budidaya Dan Pengolahan Kopi Arabika Dan Robusta*. Jakarta: Penebar Swadaya. *Panduan Budidaya Dan Pengolahan Kopi Arabika Dan Robusta*.
- Regeista, F., A. H. Yatmo, H. Sa'diyah, A. J. Sahwal, A. Mustofa, dan Y. Sugiarto. 2014. Uji performansi alat “ digital formaldehyde meter ” pendeteksi kandungan formalin pada makanan performance test " digital formaldehyde meter " detection of formaldehyde content in food. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*. 2(2):97–103.
- Rodrigues, C. I. I., C. Máguas, dan J. M. F. Nogueira. 2012. Coffees and industrial blends aroma profile discrimination according to the chromatic value. *Coffee Science*. 7(2):167–176.
- 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.
- Sakti, S. P. 2017. *Pengantar Teknologi Sensor*. Malang: UB Media.

- Samudera, D. dan A. Sugiharto. 2018. Sistem peringatan dan penanganan kebocoran gas flammable dan kebakaran berbasis internet of things ( iot ). 01(01):1–13.
- Sebayang, M. A. 2017. Stasiun pemantau kualitas udara berbasis web. *Journal of Informatics and Telecommunication Engineering*. 1(1):24–33.
- Sensors, H. 2018a. MQ-2 Datasheet. [www.hwsensor.com](http://www.hwsensor.com) [Diakses pada October 10, 2018].
- Sensors, H. 2018b. MQ-6 Datasheet. [www.hwsensor.com](http://www.hwsensor.com) [Diakses pada October 10, 2018].
- Triyanti, D. R. 2016. *Outlook Kopi Komoditas Pertanian Subsektor Perkebunan*. Jakarta: Kementerian Pertanian.
- Wardoyo, S., R. Munarto, dan V. P. Putra. 2013. Rancang bangun data logger suhu menggunakan labview. *Jurnal Ilmiah Elite Elektro*. 4(1):23–30.

## LAMPIRAN

Lampiran 1. *Sampling* Pengambilan 250 data pada sensor MQ-135

Data	Pengulangan				
	1	2	3	4	5
1	1,03	0,72	0,82	0,85	0,98
2	1,02	0,71	0,83	0,85	0,98
3	1,03	0,73	0,83	0,85	0,99
4	1,04	0,74	0,84	0,86	0,99
5	1,03	0,75	0,84	0,87	0,99
6	1,04	0,76	0,85	0,87	1,00
7	1,04	0,77	0,85	0,87	1,00
8	1,04	0,78	0,85	0,88	1,02
9	1,04	0,79	0,86	0,87	1,00
10	1,04	0,79	0,86	0,89	1,02
11	1,05	0,81	0,87	0,88	1,03
12	1,04	0,81	0,87	0,89	1,04
13	1,05	0,82	0,88	0,89	1,04
14	1,05	0,83	0,88	0,88	1,05
15	1,04	0,83	0,89	0,89	1,04
16	1,04	0,83	0,91	0,91	1,06
17	1,05	0,83	0,91	0,91	1,06
18	1,04	0,84	0,90	0,91	1,06
19	1,05	0,85	0,91	0,92	1,06
20	1,06	0,85	0,92	0,92	1,07
21	1,05	0,85	0,92	0,93	1,08
22	1,05	0,85	0,94	0,91	1,08
23	1,06	0,85	0,94	0,93	1,08
24	1,05	0,85	0,94	0,94	1,08
25	1,05	0,86	0,94	0,93	1,11
26	1,05	0,86	0,95	0,93	1,09
27	1,05	0,86	0,96	0,94	1,11
28	1,06	0,87	0,97	0,95	1,11
29	1,05	0,86	0,98	0,95	1,11
30	1,05	0,87	0,97	0,94	1,13
31	1,05	0,87	0,98	0,95	1,13
32	1,06	0,87	0,99	0,96	1,12
33	1,06	0,87	1,00	0,95	1,14
34	1,06	0,87	0,99	0,95	1,15
35	1,06	0,88	0,99	0,96	1,15

---

36	1,06	0,88	0,99	0,96	1,16
37	1,05	0,89	1,01	0,96	1,15
38	1,06	0,88	1,00	0,97	1,16
39	1,06	0,87	1,01	0,97	1,17
40	1,05	0,89	1,01	0,99	1,17
41	1,06	0,88	1,02	0,96	1,16
42	1,06	0,89	1,01	0,98	1,17
43	1,06	0,90	1,03	0,99	1,19
44	1,06	0,89	1,04	0,97	1,18
45	1,06	0,89	1,03	0,97	1,19
46	1,06	0,89	1,04	0,98	1,19
47	1,06	0,89	1,04	0,99	1,19
48	1,07	0,91	1,04	0,99	1,19
49	1,07	0,89	1,04	0,98	1,19
50	1,06	0,90	1,06	0,98	1,20
51	1,07	0,91	1,06	0,99	1,21
52	1,07	0,90	1,06	0,99	1,22
53	1,07	0,91	1,06	1,00	1,21
54	1,06	0,91	1,06	0,98	1,23
55	1,07	0,91	1,06	0,98	1,22
56	1,07	0,90	1,06	1,01	1,22
57	1,07	0,91	1,07	0,99	1,22
58	1,07	0,92	1,07	0,99	1,22
59	1,07	0,91	1,08	1,01	1,24
60	1,07	0,91	1,08	1,00	1,24
61	1,07	0,92	1,07	1,01	1,24
62	1,07	0,91	1,08	1,01	1,24
63	1,07	0,92	1,09	1,01	1,24
64	1,08	0,92	1,07	1,01	1,24
65	1,07	0,93	1,08	1,01	1,24
66	1,07	0,93	1,09	1,02	1,25
67	1,08	0,93	1,09	1,01	1,24
68	1,07	0,93	1,09	1,00	1,24
69	1,07	0,92	1,10	1,02	1,25
70	1,08	0,92	1,09	1,01	1,25
71	1,08	0,93	1,09	1,02	1,25
72	1,08	0,93	1,09	1,01	1,26
73	1,08	0,93	1,09	1,03	1,26
74	1,08	0,92	1,09	1,03	1,26
75	1,08	0,94	1,09	1,02	1,25
76	1,07	0,94	1,10	1,03	1,27
77	1,07	0,94	1,10	1,02	1,26

---

---

78	1,08	0,94	1,09	1,03	1,25
79	1,08	0,94	1,12	1,03	1,25
80	1,08	0,93	1,11	1,03	1,26
81	1,08	0,93	1,12	1,02	1,27
82	1,08	0,95	1,10	1,03	1,27
83	1,08	0,94	1,11	1,03	1,27
84	1,07	0,94	1,12	1,03	1,27
85	1,08	0,94	1,12	1,04	1,27
86	1,08	0,94	1,11	1,03	1,26
87	1,08	0,94	1,12	1,04	1,28
88	1,08	0,95	1,12	1,03	1,27
89	1,08	0,95	1,12	1,02	1,27
90	1,08	0,95	1,12	1,04	1,27
91	1,08	0,94	1,11	1,03	1,27
92	1,08	0,94	1,12	1,04	1,27
93	1,07	0,95	1,12	1,04	1,28
94	1,08	0,95	1,13	1,04	1,28
95	1,08	0,95	1,13	1,05	1,28
96	1,08	0,95	1,12	1,05	1,27
97	1,08	0,95	1,12	1,04	1,28
98	1,08	0,96	1,13	1,04	1,27
99	1,07	0,96	1,13	1,04	1,28
100	1,07	0,96	1,12	1,04	1,27
101	1,08	0,95	1,14	1,04	1,28
102	1,07	0,96	1,12	1,05	1,28
103	1,09	0,96	1,14	1,05	1,28
104	1,09	0,95	1,12	1,04	1,27
105	1,09	0,96	1,12	1,05	1,28
106	1,09	0,96	1,13	1,03	1,27
107	1,07	0,97	1,13	1,05	1,28
108	1,08	0,97	1,13	1,03	1,28
109	1,08	0,98	1,14	1,05	1,28
110	1,09	0,97	1,14	1,04	1,29
111	1,08	0,98	1,13	1,05	1,28
112	1,08	0,97	1,14	1,04	1,29
113	1,09	0,97	1,13	1,04	1,28
114	1,07	0,97	1,15	1,04	1,29
115	1,09	0,96	1,13	1,05	1,29
116	1,09	0,97	1,12	1,04	1,28
117	1,09	0,98	1,13	1,12	1,27
118	1,09	0,97	1,14	1,11	1,28
119	1,08	0,98	1,14	1,10	1,29

---

---

120	1,08	0,98	1,14	1,09	1,28
121	1,08	0,98	1,15	1,10	1,29
122	1,07	0,99	1,14	1,09	1,28
123	1,08	0,97	1,15	1,09	1,28
124	1,08	0,99	1,14	1,09	1,29
125	1,08	0,99	1,14	1,10	1,28
126	1,07	0,98	1,14	1,09	1,29
127	1,08	0,99	1,14	1,11	1,28
128	1,09	0,99	1,15	1,10	1,27
129	1,09	0,99	1,15	1,09	1,28
130	1,08	0,98	1,15	1,10	1,29
131	1,08	0,99	1,14	1,11	1,29
132	1,08	0,99	1,15	1,11	1,29
133	1,08	0,98	1,16	1,12	1,29
134	1,08	0,99	1,15	1,11	1,29
135	1,08	0,99	1,15	1,12	1,29
136	1,08	0,99	1,14	1,11	1,29
137	1,08	0,99	1,15	1,11	1,28
138	1,08	0,99	1,14	1,12	1,28
139	1,08	0,99	1,15	1,11	1,28
140	1,08	0,99	1,15	1,11	1,29
141	1,08	0,99	1,15	1,10	1,29
142	1,09	0,99	1,16	1,11	1,27
143	1,08	1,01	1,14	1,11	1,29
144	1,08	1,00	1,14	1,11	1,29
145	1,08	1,00	1,15	1,11	1,29
146	1,08	0,99	1,15	1,11	1,29
147	1,07	1,00	1,15	1,11	1,29
148	1,08	1,00	1,14	1,11	1,29
149	1,08	1,01	1,14	1,10	1,29
150	1,08	1,00	1,15	1,10	1,29
151	1,08	0,99	1,14	1,10	1,29
152	1,08	0,99	1,14	1,09	1,29
153	1,07	0,99	1,15	1,10	1,29
154	1,08	1,00	1,13	1,10	1,29
155	1,08	1,00	1,14	1,09	1,29
156	1,07	1,00	1,14	1,09	1,28
157	1,08	1,00	1,13	1,09	1,28
158	1,08	0,99	1,12	1,09	1,28
159	1,09	0,98	1,12	1,09	1,28
160	1,08	0,99	1,13	1,09	1,28
161	1,08	1,00	1,12	1,09	1,28

---



---

162	1,08	1,00	1,12	1,09	1,27
163	1,08	1,00	1,12	1,09	1,28
164	1,07	0,99	1,12	1,09	1,28
165	1,07	1,01	1,11	1,09	1,28
166	1,07	1,00	1,10	1,08	1,28
167	1,06	0,99	1,11	1,08	1,28
168	1,06	1,00	1,10	1,08	1,27
169	1,07	1,01	1,09	1,09	1,28
170	1,07	1,01	1,09	1,08	1,27
171	1,07	1,01	1,09	1,08	1,27
172	1,07	1,01	1,09	1,08	1,28
173	1,07	1,01	1,08	1,07	1,29
174	1,07	1,01	1,07	1,07	1,29
175	1,06	1,02	1,08	1,07	1,28
176	1,06	1,01	1,08	1,07	1,27
177	1,06	1,01	1,08	1,07	1,27
178	1,06	1,01	1,08	1,07	1,26
179	1,06	1,01	1,07	1,07	1,25
180	1,06	1,01	1,07	1,07	1,25
181	1,06	1,01	1,09	1,06	1,26
182	1,06	1,02	1,09	1,07	1,25
183	1,05	1,02	1,09	1,07	1,26
184	1,06	1,02	1,08	1,06	1,26
185	1,05	1,01	1,07	1,06	1,26
186	1,05	1,02	1,10	1,06	1,25
187	1,04	1,02	1,08	1,06	1,25
188	1,05	1,02	1,08	1,06	1,23
189	1,05	1,01	1,08	1,06	1,25
190	1,05	1,01	1,08	1,06	1,24
191	1,04	1,02	1,08	1,06	1,23
192	1,05	1,02	1,08	1,05	1,22
193	1,05	1,02	1,07	1,06	1,23
194	1,04	1,01	1,07	1,06	1,23
195	1,04	1,02	1,07	1,06	1,22
196	1,04	1,01	1,06	1,06	1,21
197	1,03	1,02	1,06	1,05	1,21
198	1,04	1,02	1,06	1,05	1,21
199	1,04	1,02	1,06	1,05	1,21
200	1,03	1,01	1,06	1,05	1,20
201	1,04	1,03	1,06	1,04	1,20
202	1,04	1,02	1,04	1,05	1,20
203	1,03	1,02	1,05	1,05	1,20

---

---

204	1,04	1,02	1,05	1,04	1,19
205	1,03	1,03	1,04	1,04	1,19
206	1,03	1,02	1,04	1,03	1,19
207	1,03	1,02	1,04	1,04	1,18
208	1,03	1,02	1,04	1,04	1,18
209	1,02	1,02	1,04	1,04	1,18
210	1,03	1,02	1,04	1,04	1,18
211	1,03	1,02	1,03	1,04	1,17
212	1,03	1,01	1,03	1,04	1,16
213	1,02	1,01	1,03	1,03	1,16
214	1,03	1,01	1,03	1,03	1,17
215	1,01	1,02	1,03	1,03	1,15
216	1,02	1,02	1,02	1,03	1,16
217	1,02	1,02	1,02	1,03	1,15
218	1,02	1,02	1,02	1,03	1,16
219	1,02	1,01	1,02	1,03	1,15
220	1,01	1,02	1,02	1,02	1,15
221	1,02	1,02	1,01	1,02	1,15
222	1,01	1,03	1,01	1,02	1,14
223	1,02	1,02	1,03	1,02	1,13
224	1,01	1,02	1,01	1,02	1,14
225	1,02	1,03	1,01	1,02	1,14
226	1,01	1,03	1,01	1,02	1,13
227	1,01	1,02	1,01	1,01	1,13
228	1,02	1,02	1,01	1,02	1,12
229	1,01	1,02	1,01	1,01	1,12
230	1,01	1,02	1,00	1,01	1,12
231	1,01	1,02	1,01	1,01	1,12
232	1,01	1,03	1,01	1,01	1,11
233	1,01	1,02	0,99	1,01	1,10
234	1,01	1,02	1,01	1,01	1,11
235	1,01	1,03	0,99	1,01	1,11
236	1,01	1,02	0,99	1,00	1,11
237	1,01	1,02	0,99	1,01	1,11
238	1,01	1,01	0,99	1,01	1,11
239	1,01	1,02	1,00	1,00	1,10
240	1,01	1,02	0,99	1,01	1,09
241	0,99	1,02	0,98	1,00	1,10
242	0,99	1,01	1,00	1,00	1,10
243	0,99	1,01	0,99	1,01	1,09
244	0,99	0,99	0,98	1,00	1,09
245	0,99	1,00	0,99	0,99	1,09

---

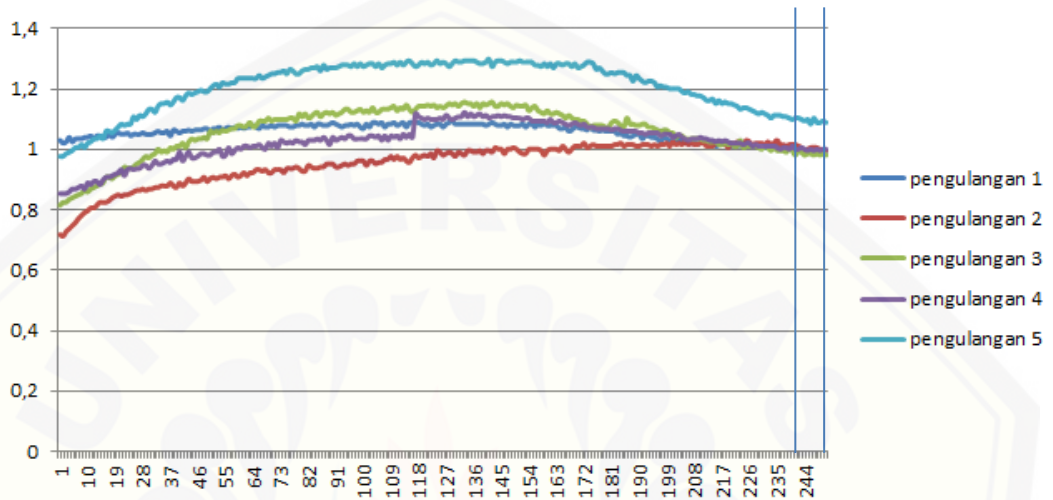
246	0,99	1,01	0,99	1,00	1,08
247	0,99	1,01	0,98	0,99	1,10
248	0,99	1,01	0,99	1,00	1,08
249	0,99	1,00	0,98	0,99	1,08
250	0,99	0,99	0,99	1,00	1,09
251	0,99	0,99	0,98	1,00	1,08



**Lampiran 2. Perhitungan Nilai Keterulangan (*Repeatability*) Sensor Tunggal**

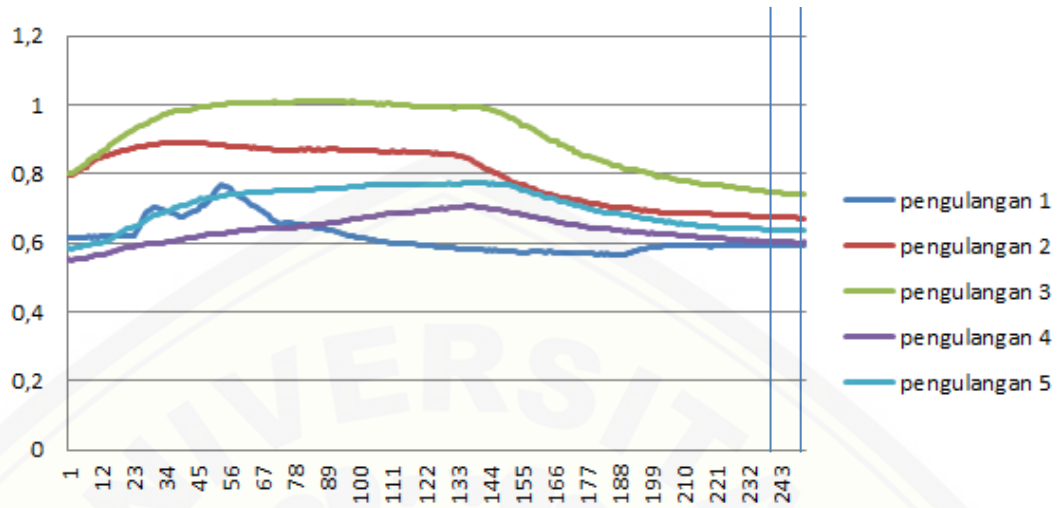
$$RSD(\%) = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100 \%$$

a. MQ-135



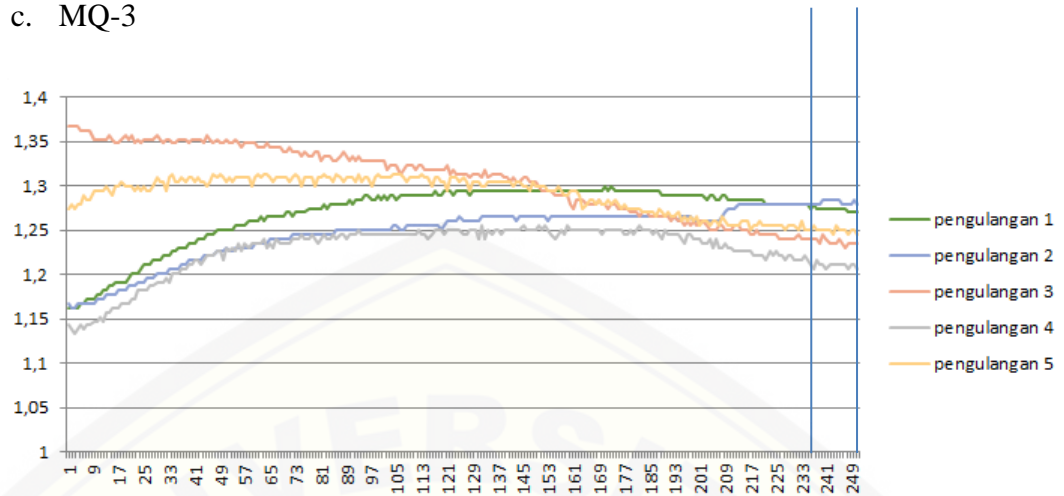
	Pengulangan				
	1	2	3	4	5
data ke 242-252	0,99	1,02	0,98	1,00	1,10
	0,99	1,01	1,00	1,00	1,10
	0,99	1,00	0,99	1,01	1,09
	0,99	0,99	0,98	1,00	1,09
	0,99	1,00	0,99	0,99	1,09
	0,99	1,01	0,99	1,00	1,08
	0,99	1,01	0,98	0,99	1,10
	0,99	1,01	0,99	1,00	1,08
	0,99	1,00	0,98	0,99	1,09
	0,98	0,99	0,99	1,00	1,09
	0,99	0,99	0,98	1,00	1,09
	Rata-rata	0,99	1,00	0,99	1,00
Rata-rata total ( $\bar{x}$ )	1,02				
SD	0,05				
RSD (%)	4,45				

b. MQ-2



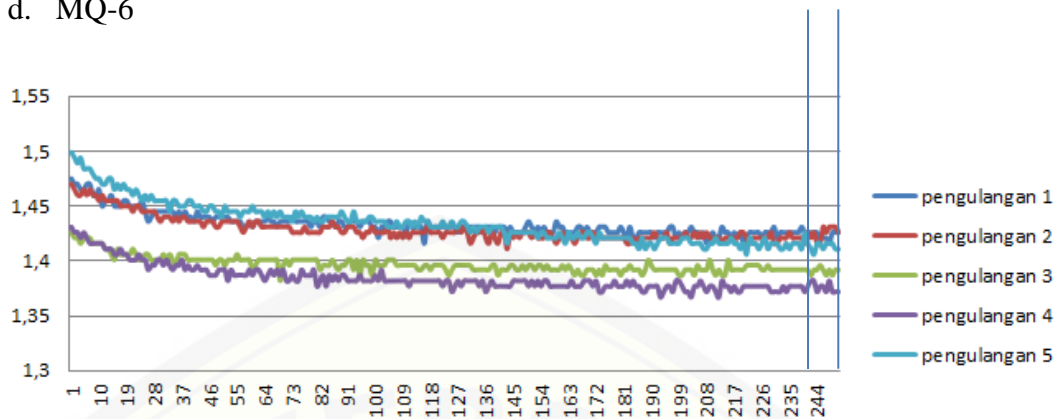
	Pengulangan				
	1	2	3	4	5
Data ke 233-249	0,67	0,75	0,61	0,64	0,67
	0,67	0,75	0,61	0,64	0,67
	0,67	0,75	0,61	0,64	0,67
	0,67	0,75	0,61	0,64	0,67
	0,67	0,75	0,61	0,64	0,67
	0,67	0,75	0,61	0,64	0,67
	0,67	0,75	0,61	0,64	0,67
	0,67	0,75	0,61	0,64	0,67
	0,67	0,75	0,61	0,64	0,67
	0,67	0,75	0,61	0,64	0,67
	0,67	0,75	0,61	0,64	0,67
	0,67	0,74	0,61	0,64	0,66
	0,67	0,74	0,61	0,64	0,66
	0,67	0,74	0,61	0,64	0,66
	0,67	0,74	0,61	0,64	0,66
	rata-rata	0,67	0,75	0,61	0,64
rata-rata total ( $\bar{x}$ )	0,67				
SD	0,02				
RSD (%)	2,76				

c. MQ-3



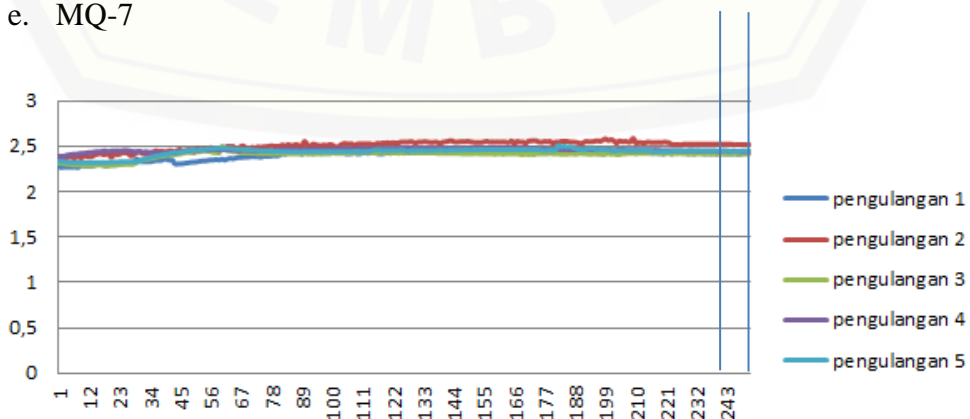
	Pengulangan				
	1	2	3	4	5
Data ke 237-252	1,27	1,28	1,24	1,21	1,25
	1,28	1,28	1,24	1,21	1,26
	1,27	1,28	1,24	1,21	1,25
	1,27	1,28	1,24	1,21	1,25
	1,27	1,28	1,24	1,21	1,25
	1,27	1,28	1,24	1,21	1,25
	1,27	1,28	1,24	1,21	1,25
	1,27	1,28	1,24	1,21	1,25
	1,27	1,28	1,24	1,21	1,25
	1,27	1,28	1,24	1,21	1,25
	1,27	1,28	1,24	1,21	1,25
	1,27	1,28	1,23	1,21	1,25
	1,27	1,28	1,24	1,21	1,25
	1,27	1,28	1,24	1,21	1,25
	1,27	1,28	1,24	1,21	1,25
rata-rata	1,27	1,28	1,24	1,21	1,25
Rata-rata total ( $\bar{x}$ )	1,25				
SD	0,03				
RSD (%)	2,29				

d. MQ-6



	Pengulangan				
	1	2	3	4	5
data ke 242 sd 252	1,43	1,43	1,39	1,38	1,42
	1,43	1,42	1,39	1,38	1,41
	1,43	1,43	1,39	1,38	1,41
	1,43	1,42	1,39	1,37	1,42
	1,42	1,42	1,39	1,38	1,42
	1,42	1,43	1,39	1,38	1,41
	1,42	1,43	1,39	1,37	1,42
	1,42	1,43	1,39	1,38	1,42
	1,43	1,43	1,39	1,37	1,42
	1,43	1,43	1,39	1,37	1,41
rata-rata	1,42	1,43	1,39	1,38	1,41
rata-rata total ( $\bar{x}$ )	1,41				
SD	0,02				
RSD (%)	1,54				

e. MQ-7



	Pengulangan				
	1	2	3	4	5
	2,42	2,52	2,42	2,45	2,45
	2,42	2,52	2,41	2,45	2,45
	2,42	2,52	2,41	2,45	2,45
	2,42	2,52	2,42	2,44	2,45
	2,42	2,52	2,42	2,45	2,44
data ke 242 s/d 252	2,42	2,52	2,42	2,45	2,45
	2,41	2,52	2,42	2,44	2,44
	2,42	2,52	2,41	2,44	2,45
	2,42	2,52	2,42	2,44	2,45
	2,42	2,52	2,42	2,44	2,45
	2,42	2,52	2,42	2,44	2,45
Rata-rata	2,42	2,52	2,42	2,44	2,45
Rata-rata total ( $\bar{x}$ )				2,45	
SD				0,04	
RSD (%)				1,69	



**Lampiran 3. Perhitungan Nilai Keterulangan (*Repeatability*) Gas Sensor Array**

$$RSD(\%) = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100 \%$$

a. MQ-135

	Pengulangan				
	1	2	3	4	5
Data ke 127-136	1,23	1,357	1,343	1,323	1,387
	1,23	1,357	1,343	1,323	1,387
	1,23	1,357	1,343	1,323	1,387
	1,23	1,357	1,343	1,323	1,387
	1,23	1,357	1,343	1,323	1,387
	1,23	1,357	1,343	1,323	1,387
	1,23	1,357	1,343	1,323	1,387
	1,23	1,357	1,343	1,323	1,387
	1,23	1,357	1,343	1,323	1,387
	1,23	1,357	1,343	1,323	1,387
rata-rata	1,23	1,357	1,343	1,323	1,387
rata-rata total ( $\bar{x}$ )	1,328				
SD	0,059532				
RSD (%)	4,482794				

b. MQ-2

	Pengulangan				
	1	2	3	4	5
Data ke 142-148	0,977	0,937	0,918	0,923	0,972
	0,977	0,937	0,918	0,923	0,972
	0,977	0,937	0,918	0,923	0,972
	0,977	0,937	0,918	0,923	0,972
	0,977	0,937	0,918	0,923	0,972
	0,977	0,937	0,918	0,923	0,972
	0,977	0,937	0,918	0,923	0,972
	0,977	0,937	0,918	0,923	0,972
rata-rata	0,977	0,937	0,918	0,923	0,972
rata-rata total ( $\bar{x}$ )	0,9454				
SD	0,027519084				
RSD (%)	2,91084031				

## c. MQ-3

	Pengulangan				
	1	2	3	4	5
Data ke 137-148	0,854	0,864	0,84	0,791	0,835
	0,854	0,864	0,84	0,791	0,835
	0,854	0,864	0,84	0,791	0,835
	0,854	0,864	0,84	0,791	0,835
	0,854	0,864	0,84	0,791	0,835
	0,854	0,864	0,84	0,791	0,835
	0,854	0,864	0,84	0,791	0,835
	0,854	0,864	0,84	0,791	0,835
	0,854	0,864	0,84	0,791	0,835
	0,854	0,864	0,84	0,791	0,835
	0,854	0,864	0,84	0,791	0,835
	0,854	0,864	0,84	0,791	0,835
	0,854	0,864	0,84	0,791	0,835
rata-rata	0,854	0,864	0,84	0,791	0,835
rata-rata total ( $\bar{x}$ )	0,8368				
SD	0,028048173				
RSD (%)	3,351837099				

## d. MQ-6

	Pengulangan				
	1	2	3	4	5
Data ke 210-230	1,245	1,357	1,348	1,343	1,335
	1,245	1,357	1,348	1,343	1,335
	1,245	1,357	1,348	1,343	1,335
	1,245	1,357	1,348	1,343	1,335
	1,245	1,357	1,348	1,343	1,335
	1,245	1,357	1,348	1,343	1,335
	1,245	1,357	1,348	1,343	1,335
	1,245	1,357	1,348	1,343	1,334
	1,245	1,357	1,348	1,343	1,334
	1,245	1,357	1,348	1,343	1,334
	1,245	1,357	1,348	1,348	1,336
	1,245	1,357	1,348	1,348	1,335
	1,245	1,357	1,348	1,348	1,336
	1,245	1,357	1,343	1,348	1,334
	1,245	1,357	1,348	1,348	1,336
	1,245	1,357	1,348	1,348	1,335

	1,245	1,357	1,348	1,348	1,335
	1,245	1,357	1,348	1,348	1,336
	1,245	1,357	1,348	1,353	1,337
	1,245	1,357	1,348	1,348	1,336
	1,245	1,357	1,348	1,353	1,336
rata-rata	1,245	1,357	1,3477	1,3460	1,3351
rata-rata total ( $\bar{x}$ )	1,326209524				
SD	0,046053351				
RSD (%)	3,472554666				

## e. MQ-7

	Pengulangan				
	1	2	3	4	5
Data ke 208-217	1,245	1,357	1,348	1,343	1,382
	1,245	1,357	1,348	1,343	1,382
	1,245	1,357	1,348	1,343	1,382
	1,245	1,357	1,348	1,343	1,382
	1,245	1,357	1,348	1,343	1,382
	1,245	1,357	1,348	1,343	1,382
	1,245	1,357	1,348	1,343	1,382
	1,245	1,357	1,348	1,343	1,382
	1,245	1,357	1,348	1,343	1,382
	1,245	1,357	1,348	1,343	1,382
	1,245	1,357	1,348	1,343	1,382
rata-rata	1,245	1,357	1,348	1,343	1,382
rata-rata total ( $\bar{x}$ )	1,335				
SD	0,052502381				
RSD (%)	3,932762614				

**Lampiran 4. Perhitungan Nilai Keterkaitan (*Reproducibility*) Gas Sensor Array**

$$RSD(\%) = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100 \%$$

suhu 75							
sensor	minggu ke-				Rata-rata ( $\bar{x}$ )	SD	RSD (%)
	1	2	3	4			
mq 135	1,328	1,328	1,805	1,513	1,493	0,225	15,075
mq 2	0,945	0,949	1,723	1,334	1,238	0,371	29,983
mq 3	0,837	0,837	1,487	1,303	1,116	0,330	29,652
mq 6	1,335	1,328	1,816	1,513	1,498	0,228	15,251
mq 7	1,335	1,335	1,802	1,513	1,496	0,220	14,726

suhu 80							
sensor	minggu ke-				Rata-rata ( $\bar{x}$ )	SD	RSD (%)
	1	2	3	4			
mq 135	1,410	1,410	1,858	1,685	1,591	0,220	13,864
mq 2	1,057	1,057	1,713	1,438	1,316	0,319	24,271
mq 3	0,805	0,805	1,506	1,525	1,160	0,410	35,322
mq 6	1,410	1,410	1,849	1,682	1,588	0,216	13,634
mq 7	1,410	1,414	1,858	1,685	1,592	0,219	13,787

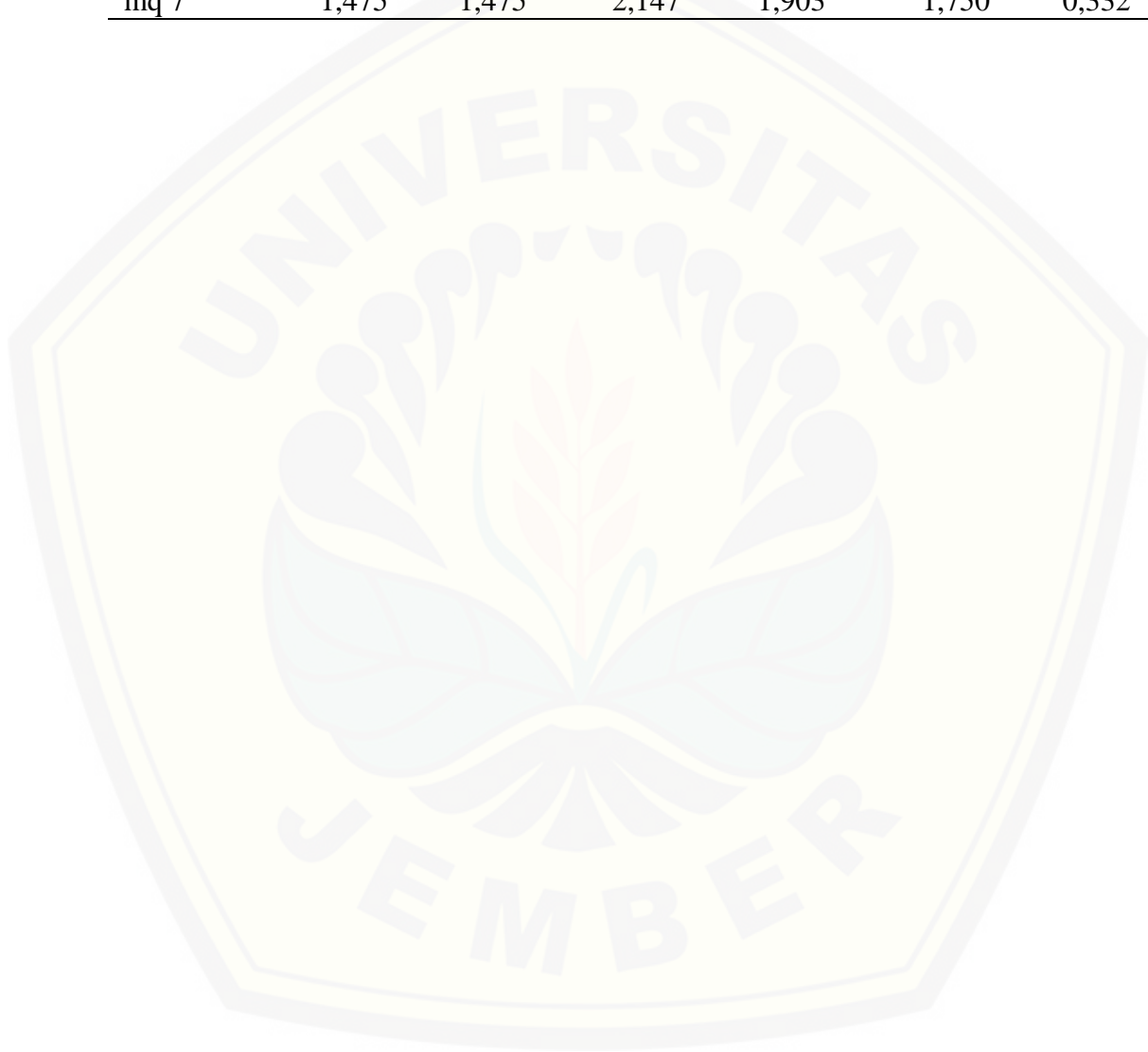
suhu 85							
sensor	minggu ke-				Rata-rata ( $\bar{x}$ )	SD	RSD (%)
	1	2	3	4			
mq 135	1,452	1,452	1,937	1,747	1,647	0,238	14,457
mq 2	1,103	1,103	1,824	1,568	1,399	0,357	25,564
mq 3	0,868	0,868	1,578	1,588	1,225	0,413	33,699
mq 6	1,444	1,452	1,937	1,751	1,646	0,240	14,631
mq 7	1,452	1,452	1,937	1,750	1,648	0,238	14,472

suhu 92							
sensor	minggu ke-				Rata-rata ( $\bar{x}$ )	SD	RSD (%)
	1	2	3	4			
mq 135	1,497	1,500	2,111	1,748	1,714	0,289	16,905
mq 2	1,262	1,262	2,010	1,595	1,533	0,355	23,161
mq 3	0,932	0,932	1,608	1,626	1,274	0,395	31,007
mq 6	1,500	1,500	2,113	1,751	1,716	0,290	16,897
mq 7	1,497	1,497	2,113	1,749	1,714	0,291	16,999

suhu 95

sensor	minggu ke-				Rata-rata ( $\bar{x}$ )	SD	RSD (%)
	1	2	3	4			
mq 135	1,475	1,475	2,147	1,904	1,750	0,332	19,009
mq 2	1,344	1,344	2,013	1,688	1,597	0,321	20,096
mq 3	0,994	0,994	1,614	1,642	1,311	0,366	27,937
mq 6	1,475	1,475	2,147	1,904	1,750	0,332	19,015
mq 7	1,475	1,475	2,147	1,903	1,750	0,332	19,007



### Lampiran 5. Analisa Kinerja Gas Sensor Array

#### 1. ANOVA

	Sensor	Jenis sensor				
		mq135	mq2	mq3	mq6	mq7
minggu 1	75	1,328	0,945	0,836	1,335	1,335
	80	1,410	1,057	0,805	1,410	1,410
	85	1,452	1,103	0,868	1,444	1,452
	92	1,497	1,262	0,932	1,500	1,497
	95	1,475	1,344	0,994	1,475	1,475

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Row 1	5	5,7802	1,15604	0,059977
Row 2	5	6,0932	1,21864	0,076573
Row 3	5	6,3206	1,26412	0,071535
Row 4	5	6,69	1,338	0,061751
Row 5	5	6,7654	1,35308	0,043463
Column 1	5	7,1632	1,43264	0,004467
Column 2	5	5,7136	1,14272	0,025734
Column 3	5	4,4374	0,88748	0,005761
Column 4	5	7,165	1,433	0,004144
Column 5	5	7,1702	1,43404	0,00411

#### ANOVA

<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>
Rows	0,135523	4	0,0338	13,113	$6,35 \times 10^{-5}$	3,0069
Columns	1,211853	4	0,3029	117,25	$1,22 \times 10^{-11}$	3,0069
Error	0,04134	16	0,0025			
Total	1,388716	24				