



**PENGARUH VARIASI *CYLINDRICAL CHAMBER*
DESIGN DALAM MENDETEKSI AROMA KOPI ROBUSTA
SIDOMULYO DAN BANGSALSARI JEMBER TERHADAP
POLA RESPON SENSOR GAS ARRAY**

SKRIPSI

Oleh
Febiola Silvia Ningsih
NIM 171810301042

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2022**



**PENGARUH VARIASI *CYLINDRICAL CHAMBER*
DESIGN DALAM MENDETEKSI AROMA KOPI ROBUSTA
SIDOMULYO DAN BANGSALSARI JEMBER TERHADAP
POLA RESPON SENSOR GAS ARRAY**

SKRIPSI

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

Oleh
Febiola Silvia Ningsih
NIM 171810301042

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2022**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Ibu Asviah dan Bapak Jaenal yang selalu memberikan doa, dukungan, nasihat, pengorbanan dan kasih sayang tiada hentinya selama ini sehingga saya dapat menyelesaikan pendidikan hingga tahap ini;
2. Seluruh keluarga besar yang telah memberikan doa dan dukungannya;
3. Bapak dan ibu guru SDN Klakah 01, SMPN 01 Sukodono, dan SMAN 03 Lumajang, bapak dan ibu dosen jurusan kimia Universitas Jember, serta teknisi laboratorium jurusan kimia yang telah membimbing, mendidik, dan memotivasi saya dengan penuh kesabaran dan keikhlasan, serta telah banyak memberikan ilmu dan pengalaman yang bermanfaat;
4. Tim Riset Analitik, Ainun, Medina, Menik, Nurul, Qurotul, Rambe, Rena, dan Vera yang telah banyak membantu dalam proses penelitian serta semangatnya selama pembuatan skripsi ini;
5. Anis, Camelia, Cindy, Deva, Khintan, Millatie, Nadia, Ulfa, dan Yuni yang selalu memberikan dukungan, semangat dan doanya;
6. Teman-teman seperjuangan PLATINUM 2017 yang telah menemani dan memberikan semangat selama kuliah di jurusan kimia hingga selesai;
7. Teman-teman pengurus HIMAKI “Zirkonium” periode 2018 yang telah memberikan pengalaman bagi saya dalam berorganisasi;
8. Semua pihak yang telah berkontribusi selama ini namun tidak dapat disebutkan satu persatu.

MOTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan kesanggupannya”
(Terjemahan Q.S Al-Baqarah Ayat 286) ^{*)}

“Ketahuilah bahwa kemenangan bersama kesabaran, kelapangan bersama
kesempitan, dan kesulitan bersama kemudahan”
(Hadits Riwayat Tirmidzi) ^{**)}



^{*)} Departemen Agama Republik Indonesia. 2010. *Mushaf Aisyah Al-Qur'an dan terjemahan untuk Wanita*. Semarang: PT. Grafindo.

^{**)} Jazuli, Ahzami Samiun. 2006. *Hijrah dalam Pandangan Al-Qur'an*. Jakarta: Gema Insani.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Febiola Silvia Ningsih

NIM : 171810301042

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Variasi *Cylindrical Chamber Design* dalam Mendeteksi Aroma Kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari Jember terhadap Pola Respon Sensor Gas *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, 23 Maret 2022
Yang menyatakan,

Febiola Silvia Ningsih
NIM 171810301042

SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI *CYLINDRICAL CHAMBER*
DESIGN DALAM MENDETEKSI AROMA KOPI ROBUSTA
SIDOMULYO DAN BANGSALSARI JEMBER TERHADAP POLA
RESPON SENSOR GAS ARRAY**

Oleh
Febiola Silvia Ningsih
NIM 171810301042

Pembimbing

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

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi *Cylindrical Chamber Design* dalam Mendeteksi Aroma Kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari Jember terhadap Pola Respon Sensor Gas Array” karya Febiola Silvia Ningsih; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal :

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

Tim Penguji,

Ketua,

Anggota I,

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

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

Anggota II,

Anggota III,

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

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

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember,

Drs. Achmad Sjaifullah, M.Sc., Ph.D
NIP. 19591009186021001

RINGKASAN

Pengaruh Variasi *Cylindrical Chamber Design* dalam Mendeteksi Aroma Kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari Jember terhadap Pola Respon Sensor Gas Array; Febiola Silvia Ningsih; 17181031042; 63 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Kopi (*Coffea sp.*) merupakan salah satu komoditas perkebunan yang berperan penting bagi perekonomian Indonesia. Produksi kopi di Indonesia menduduki posisi terbesar keenam setelah kelapa sawit, karet, kelapa, tebu, dan kakao. Salah satu daerah penghasil kopi terbesar di Jawa Timur yaitu Kabupaten Jember dengan total luas perkebunan mencapai 18.321 ha. Daerah terluas terdapat di Kecamatan Silo dengan luas area 2.133 ha. Kopi mempunyai aroma khas yang berbeda-beda pada setiap jenis dan daerahnya. Pendeteksian aroma kopi yang dapat dilakukan untuk mendapatkan hasil yang efektif dengan tingkat keakuratan yang tinggi yaitu menggunakan *electronic nose* (hidung elektronik) berupa sensor *array*. *Electronic nose* merupakan instrumen pintar yang dirancang untuk mendeteksi dan membedakan bau yang kompleks menggunakan berbagai sensor. Sensor yang digunakan terdiri dari delapan sensor gas MQ, diantaranya yaitu MQ-136, MQ-135, MQ-2, MQ-3, MQ-6, MQ-7, MQ-8, dan MQ-9.

Karakteristik kinerja pola respon sensor yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh desain *chamber*, volume *chamber*, dan posisi *inlet-outlet*, serta peletakan susunan sensor. Penelitian ini menggunakan *cylindrical chamber* dan *ring chamber design* sebagai penentuan karakteristik pola respon sensor terhadap aroma kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari berdasarkan variasi *chamber*. Desain *cylindrical chamber* pada penelitian ini yaitu terdiri dari tiga tipe. Ketiga tipe tersebut berbeda pada posisi *inlet* (jalur masuk gas) dan *outlet* (jalur keluar gas), serta posisi peletakan sensornya. Ketiga tipe *cylindrical chamber* yang digunakan diantaranya *chamber 1*, *chamber 2*, dan *chamber 3*. Desain *ring chamber* yang digunakan merupakan desain *chamber* penelitian sebelumnya atau *chamber 4*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi *chamber* memberikan pengaruh terhadap hasil karakteristik pola respon sensor aroma kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari, diantaranya meliputi waktu respon sensor dan waktu gas untuk mencapai kondisi stabil (*steady state*) dalam mendeteksi aroma kopi, serta intensitas tegangan. Berdasarkan waktu respon sensor dalam mendeteksi aroma kopi dan waktu gas untuk mencapai kondisi stabil (*steady state*) yaitu paling cepat *chamber* 4, diikuti *chamber* 1, *chamber* 2, dan terakhir *chamber* 3. Berdasarkan intensitas tegangan yang dihasilkan yaitu *chamber* 1 mempunyai intensitas tegangan cenderung lebih tinggi dibandingkan *chamber* 2, diikuti *chamber* 3, dan terakhir *chamber* 4. Hasil analisis PCA menunjukkan bahwa *chamber* 1, 3, dan 4 mampu membedakan karakteristik pola respon sensor yang dihasilkan dari pengukuran aroma kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari, dibandingkan *chamber* 2. Hal ini berdasarkan dari nilai jarak *euclidean* yang dihasilkan. Nilai jarak *euclidean* antar *chamber* pada setiap masing-masing sampel kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari yaitu berturut-turut dari *chamber* 1, 2, 3, dan 4 sebesar 0,17; 0,10; 0,34; dan 0,11.

Chamber optimum yang diperoleh yaitu *chamber* 1 dikarenakan lebih dominan menunjukkan kelebihan dari beberapa parameter pendukungnya dibandingkan *chamber* 2, 3, dan 4. *Chamber* 1 mempunyai waktu respon sensor yang cepat dalam mendeteksi aroma kopi, intensitas tegangan yang dihasilkan juga paling tinggi dibandingkan *chamber* lainnya, serta *chamber* 1 mampu membedakan karakteristik pola respon sensor yang dihasilkan dari pengukuran aroma kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari yang dilihat dari nilai jarak *euclidean* yang jauh berdasarkan hasil analisis PCA.

Kinerja sensor berdasarkan uji *repeatability* yaitu *chamber* 1 dan 4 memiliki nilai %RSD (<5%), sedangkan *chamber* 2 dan 3 (>5% atau <6%). Hasil uji *reproducibility* yaitu *chamber* 1 memiliki nilai %RSD (7-20%) dan *chamber* 4 (9-18%) atau < 20% yang menunjukkan bahwa kinerja sensornya baik, sedangkan *chamber* 2 memiliki nilai %RSD (8-24%) dan *chamber* 3 (6-24%) atau > 20% atau < 24% yang menunjukkan bahwa kinerja sensornya kurang baik.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi *Cylindrical Chamber Design* dalam Mendeteksi Aroma Kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari Jember terhadap Pola Respon Sensor Gas *Array*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam 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 ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dekan FMIPA, Drs. Achmad Sjaifullah, M.Sc., Ph.D;
2. Ketua Jurusan Kimia, Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si periode 2013-2021 dan Dr. Anak Agung Istri Ratnadewi, S.Si., M.Si periode 2021 hingga sekarang;
3. Asnawati, S.Si., M.Si selaku Dosen Pembimbing Utama dan Drs. Siswoyo, M.Sc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran, bimbingan, dan nasihat dalam penulisan skripsi ini;
4. I Nyoman Adi Winata, S.Si., M.Si selaku Dosen Penguji Utama dan Tri Mulyono, S.Si., M.Si selaku Dosen Penguji Anggota yang telah meluangkan waktu untuk menguji serta memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
5. Dwi Indarti, S.Si, M.Si selaku Dosen Pembimbing Akademik;
6. Bapak dan Ibu Dosen, serta teknisi Laboratorium Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;

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

Jember, 23 Maret 2022

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	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 Kandungan Senyawa Kopi	6
2.1.3 Jenis-jenis Kopi	7
2.1.4 Kopi Robusta Jember	9
2.2 Sensor Gas	10
2.2.1 Definisi Sensor Gas	10
2.2.2 Prinsip Kerja Sensor Gas	12
2.2.3 Jenis Sensor Gas MQ	14
2.3 Sensor Array	20
2.4 Electronic Nose	22
2.5 Chamber	23
2.6 Arduino	25
2.7 Software LabVIEW	25
2.8 Principal Component Analysis (PCA)	27
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	30
3.2 Alat dan Bahan	30
3.2.1 Alat	30
3.2.2 Bahan	30
3.3 Diagram Alir	31
3.4 Prosedur Kerja	32
3.4.1 Pengambilan Sampel	32
3.4.2 Rancangan Pembuatan <i>Chamber</i>	32

3.4.3 Rancangan Penyusunan Sensor	33
3.4.4 Desain Susunan Alat	34
3.4.4 Preparasi Sampel	35
3.4.5 Pengukuran Aroma Kopi	35
3.4.6 Metode Analisa	36
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Pola Respon Sensor Gas Array dalam Mendeteksi Aroma Kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari di berbagai Variasi Cylindrical Chamber	39
4.1.1 Pola Respon Sensor terhadap Uap Air (<i>Baseline</i>)	43
4.1.2 Pola Aroma Kopi	44
4.2 Kinerja Sensor Gas Array dalam Mendeteksi Aroma Kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari	52
4.2.1 <i>Repeatability</i>	52
4.2.2 <i>Reproducibility</i>	54
BAB 5. PENUTUP	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	64

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Beberapa Senyawa Volatil pada Aroma Kopi saat Penyeduhan	6
2.2 Komposisi Kimia Biji Kopi Arabika sebelum dan sesudah disangrai	8
2.3 Komposisi Kimia Biji Kopi Robusta sebelum dan sesudah disangrai	8
2.4 Luas Areal Perkebunan dan Produksi Tanaman Kopi Berdasarkan Kecamatan di Kabupaten Jember pada Tahun 2019.....	10
2.5 Struktur Sensor MQ-3	17
4.1 Waktu Respon Sensor dalam Mendeteksi Gas di berbagai Variasi <i>Chamber</i>	41
4.2 Parameter Penentu <i>Chamber</i> Optimum	51
4.3 Nilai %RSD <i>Repeatability</i> Sensor Gas <i>Array</i> pada Minggu Pertama	53
4.4 <i>Reproducibility</i> Sensor <i>Array</i> berdasarkan Nilai %RSD untuk Kopi Robusta Sidomulyo.....	55
4.5 <i>Reproducibility</i> Sensor <i>Array</i> berdasarkan Nilai %RSD untuk Kopi Robusta Bangsalsari	55

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Peta Potensi Kopi di Kabupaten Jember	9
2.2 Struktur Sensor Gas	12
2.3 Penghalang Potensial antar Butir pada Keadaan Gas yang dideteksi	13
2.4 Penghalang Potensial antar Butir dalam Lingkungan Gas	13
2.5 Bentuk Fisik Sensor MQ-136	15
2.6 Karakteristik Sensitivitas Sensor MQ-136	15
2.7 Bentuk Fisik Sensor MQ-135	15
2.8 Bentuk Fisik Sensor MQ-2	16
2.9 Rangkaian Uji Dasar Sensor MQ-2	16
2.10 Sensor MQ-3 (a) Bentuk Fisik; (b) Struktur	17
2.11 Bentuk Fisik Sensor MQ-6	18
2.12 Bentuk Fisik Sensor MQ-7	18
2.13 Rangkaian Uji Dasar MQ-7	18
2.14 Bentuk Fisik Sensor MQ-8	19
2.15 Karakteristik Sensitivitas Sensor MQ-8	19
2.16 Bentuk Fisik Sensor MQ-9	20
2.17 Karakteristik Sensitivitas Sensor MQ-9	20
2.18 Diagram Skematik untuk Membuat Ruang Sensor Gas	21
2.19 Diagram Skematik Gas Sensor <i>Array</i>	21
2.20 Prinsip Kerja <i>Electronic Nose</i>	22
2.21 (a) Tampilan Isometrik; (b) Tampilan Desain Ruang Paralel	24
2.22 (a) Tampilan Isometrik; (b) Arus Sampel Volatil	24
2.23 Papan Arduino Mega 2560	25
2.24 <i>Software LabVIEW</i>	26
2.25 Tampilan <i>Front Panel</i>	26
2.26 Tampilan Diagram Blok	27
2.27 Diagram Proyeksi Dimensi Tinggi ke Dimensi yang Lebih Rendah di PCA	28

2.28 Hasil Analisis PCA berdasarkan <i>Raw</i> Spektrum	29
3.1 Diagram Alir Identifikasi Aroma Kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari	31
3.2 <i>Chamber</i> 1 (a) Ilustrasi Arah Aliran Gas Tampak Atas (b) Tampak Samping; dan c) (Simulasi Aliran Gas dalam <i>Chamber</i>	32
3.3 <i>Chamber</i> 2 (a) Ilustrasi Arah Aliran Gas Tampak Atas (b) Tampak Samping; dan c) (Simulasi Aliran Gas dalam <i>Chamber</i>	32
3.4 <i>Chamber</i> 3 (a) Ilustrasi Arah Aliran Gas Tampak Atas (b) Tampak Samping; dan c) (Simulasi Aliran Gas dalam <i>Chamber</i>	33
3.5 (a) <i>Chamber</i> 4 (<i>Ring Chamber</i> Penelitian Sebelumnya); (b) Aliran Gas Tampak Atas; dan (c) Simulasi Aliran	33
3.6 Susunan Sensor dalam <i>Cylindrical Chamber</i>	34
3.7 Susunan Sensor pada Penelitian Sebelumnya	34
3.8 Desain Susunan Alat	35
4.1 Respon Sensor Gas MQ-2 terhadap Kopi Robusta Sidomulyo selama 5 kali pengulangan di berbagai Variasi <i>Chamber</i> (a) <i>Chamber</i> 1; (b) <i>Chamber</i> 2; (c) <i>Chamber</i> 3; dan (d) <i>Chamber</i> 4	40
4.2 Pola Respon Sensor terhadap Uap Air (<i>Baseline</i>) di berbagai Variasi <i>Chamber</i>	43
4.3 Pola Tegangan Uap Kopi di berbagai Variasi <i>Chamber</i> (sebelum dikurangi <i>Baseline</i>) (a) Kopi Sidomulyo; (b) Kopi Bangsalsari	44
4.4 Karakteristik Pola Respon Sensor Gas <i>Array</i> di berbagai Variasi <i>Chamber</i> (a) Kopi Sidomulyo; (b) Kopi Bangsalsari	45
4.5 Hasil Scores Plot PCA 2D Kopi Sidomulyo dan Bangsalsari pada Variasi <i>Chamber</i>	50
4.6 Grafik Pola Respon Aroma Kopi Sidomulyo selama 5 kali Pengulangan pada Minggu Pertama terhadap Variasi <i>Chamber</i> (a) <i>Chamber</i> 1; (b) <i>Chamber</i> 2; (c) <i>Chamber</i> 3; dan (d) <i>Chamber</i> 4	52
4.7 Grafik Pengukuran Aroma Kopi Sidomulyo pada Minggu 1, 3, 5, dan 7 terhadap Variasi <i>Chamber</i> (a) <i>Chamber</i> 1; (b) <i>Chamber</i> 2; (c) <i>Chamber</i> 3; dan (d) <i>Chamber</i> 4	54

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
4.1 Pola Respon setiap Jenis Sensor pada Pengukuran Kopi Robusta Sidomulyo diberbagai Variasi Desain <i>Chamber</i>	64
4.2 Data Tegangan Sensor terhadap Uap Air	68
4.3 Nilai Perhitungan %RSD Uap Air	68
4.4 Penentuan Pola Respon Sensor Gas <i>Array</i> untuk Aroma Kopi	68
4.5 Nilai %RSD Sensor <i>Array</i> dalam Pengukuran Kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari diberbagai Variasi Desain <i>Chamber</i>	70
4.6 Nilai %RSD Sensor <i>Array</i> dalam Pengukuran Kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari dengan Variasi Desain <i>Chamber</i> untuk Menentukan Reprodusibilitas Sensor	82
4.7 Analisis PCA (<i>Principal Component Analysis</i>)	85
4.8 Nilai Jarak <i>Euclidean</i>	88

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kopi (*Coffea sp.*) merupakan salah satu komoditas perkebunan yang berperan penting bagi perekonomian Indonesia dikarenakan sebagai sumber devisa, sumber pendapatan petani kopi, penghasil bahan baku industri, serta penyedia lapangan pekerjaan melalui kegiatan pengolahan, pemasaran, dan perdagangan (ekspor dan impor) (Chandra *et al.*, 2013). Produksi kopi di Indonesia menduduki posisi terbesar keenam setelah kelapa sawit, karet, kelapa, tebu, dan kakao (Wulandari, 2010). Tingginya produksi kopi menempatkan Indonesia sebagai negara eksportir kopi sangrai terbesar keempat setelah Meksiko, Kolombia, Vietnam, dan di posisi kelima diduduki oleh Brazil. Negara-negara tersebut telah menyumbang 93,1% dari total ekspor kopi sangrai dalam 9 bulan pertama tahun 2019 (ICO, 2020).

Kabupaten Jember merupakan salah satu daerah di Jawa Timur yang mempunyai potensi untuk memproduksi kopi. Total terdapat 18.321 ha perkebunan kopi di Kabupaten Jember (BPS Jawa Timur, 2019), dimana 6.629,08 ha diantaranya perkebunan kopi rakyat. Perkebunan kopi rakyat tersebar di 16 kecamatan dengan jumlah produksi 4.930,60 ton pada tahun 2019, dimana daerah terluas terdapat di Kecamatan Silo seluas 2.133 ha khususnya Desa Sidomulyo (BPS Kabupaten Jember, 2020). Desa Sidomulyo mempunyai komoditas unggulan berupa kopi robusta (Rokhani, 2012).

Kopi mempunyai aroma khas yang berbeda-beda pada setiap jenis dan daerahnya. Aroma kopi dapat diidentifikasi menggunakan indra penciuman. Pendeteksian ini sangat subjektif untuk dilakukan, karena kemampuan penciuman dari setiap orang berbeda-beda sehingga hasil yang diperoleh juga berbeda (Rodriguez *et al.*, 2010). Permasalahan tersebut perlu diatasi agar diperoleh hasil yang efektif dan memiliki tingkat keakuratan yang tinggi, maka memunculkan sebuah ide untuk mendeteksi aroma kopi tersebut yaitu dengan menggunakan *electronic nose* (hidung elektronik) berupa sensor *array* (Konduru *et al.*, 2015).

Electronic nose bekerja dengan meniru sistem penciuman manusia. *Electronic nose* merupakan instrumen pintar yang dirancang untuk mendeteksi dan membedakan bau yang kompleks menggunakan berbagai sensor. Instrumen ini menyediakan teknik pengambilan sampel yang cepat, sederhana dan non-invasif, untuk mendeteksi berbagai senyawa yang mudah menguap (volatil) (Mahmoudi, 2009). Sistem *electronic nose* terdiri dari multisensor *array*, unit pemrosesan informasi seperti jaringan saraf tiruan, dan perangkat lunak dengan algoritma pengenalan pola digital (Wilson dan Baietto, 2009). Penggunaan sistem *electronic nose* dilakukan oleh Rabersyah *et al.*, (2016) untuk mengidentifikasi jenis bubuk kopi arabika dan robusta menggunakan 5 jenis sensor TGS. Sinyal yang diperoleh dari masing-masing sensor akan diproses dan diolah menggunakan *JST backpropagation*. Penelitian tersebut berhasil mengidentifikasi jenis bubuk kopi arabika, robusta, dan udara netral (tanpa kopi) dengan tingkat keberhasilan berturut-turut sebesar 40%, 100%, dan 100%.

Karakteristik kinerja pola respon sensor yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh desain *chamber*, volume *chamber*, posisi *inlet* dan *outlet* (Lezzi *et al.*, 2001), serta peletakan susunan sensor (Samiyan dan Addi, 2017). *Chamber* perlu dirancang dengan sebaik mungkin untuk mengakomodasi sensor sehingga pengukuran sampel dapat optimal. Desain *chamber* akan menekankan pada respon sensor, stabilitas, *reproducibility*, dan *repeatability* (Di Francesco *et al.*, 2005). Geometri *chamber* perlu diatur sedemikian rupa untuk memastikan bahwa senyawa volatil yang diinjeksikan mencapai kondisi stabil dan seragam di dalam *chamber* dalam waktu yang serendah mungkin, meminimalkan keberadaan daerah stagnan atau resirkulasi, dan memaksimalkan kontak gas dengan permukaan sensor (Scott *et al.*, 2004).

Viccione *et al.*, (2012) melakukan penelitian dengan menggunakan desain *chamber* silinder 3D dengan bantuan diffuser silinder yang ditempatkan di dalam ruang. Desain *chamber* tersebut telah memberikan kinerja terbaik dengan adanya diffuser karena kondisi stabil dapat dicapai dengan waktu yang dibutuhkan, dan nilai tegangan terkecil dicapai pada daerah stagnan. Di Francesco *et al.*, (2005) juga melakukan penelitian mengenai sinyal respon sensor menggunakan desain

chamber berbentuk silinder. Desain *chamber* telah menunjukkan kinerja yang baik dikarenakan daerah yang tergenang sangat kecil. Penggunaan desain *chamber* silinder juga dilakukan oleh Bakar *et al.*, (2016). Pada penelitiannya sensor disusun secara paralel di dalam *chamber*. Desain *chamber* tersebut telah menunjukkan bahwa gas mengalir ke seluruh ruang yang nantinya akan mengoptimalkan interaksi antara gas dengan sensor.

Penelitian lain juga dilakukan Gardner *et al.*, (1998) dengan desain *chamber* yang berbeda. Pada penelitian tersebut menggunakan desain *chamber* berbentuk balok untuk memprediksi jenis bakteri dan fase pertumbuhan kultur. Desain *chamber* tersebut mudah untuk diterapkan, namun bilik penginderaan mempunyai kinerja yang kurang baik, dikarenakan daerah yang tergenang cukup besar akibat dari bentuk tepi yang bersifat menjebak gas. Tukijan *et al.*, (2013) melakukan penelitian dengan desain *chamber* yang berbeda yaitu berbentuk spiral. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gas mengalir secara konstan dan waktu yang dibutuhkan sangat singkat, namun sensor perlu dirancang khusus karena sensor yang tersedia secara komersial tidak dapat masuk ke dalam *chamber*.

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai berbagai desain *chamber* pada sistem penginderaan seperti di atas, desain *chamber* yang berpotensi menghasilkan pola sinyal respon yang baik yaitu desain *chamber* silinder. Jayanti (2020) telah melakukan penelitian menggunakan *chamber* berbentuk *ring*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja sensor pada *ring chamber* dapat bekerja dengan baik dengan nilai $\%RSD < 8\%$. *Ring chamber* pada penelitian Jayanti (2020) ini dijadikan sebagai pembandingan pada penelitian ini, karena dianggap sebagai *chamber* yang baik dalam mendeteksi aroma kopi. Oleh karena itu, pada penelitian ini difokuskan pada pengidentifikasian aroma bubuk kopi robusta pada kebun Sidomulyo dan Bangsalsari dengan menggunakan *cylindrical chamber design* dengan memvariasikan posisi *inlet-outlet* dan peletakan susunan sensornya untuk memperoleh pola signal yang lebih baik dan stabil. *Cylindrical chamber design* nantinya dibandingkan dengan *ring chamber* pada penelitian sebelumnya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat diambil dari latar belakang masalah diatas yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi *chamber* terhadap pola respon sensor gas *array* dalam mendeteksi aroma kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari-Jember?
2. Bagaimana kinerja sensor gas *array* dalam mendeteksi aroma kopi robusta Sidomulyo dan Bangsalsari-Jember berdasarkan uji *reproducibility*?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi *chamber* terhadap pola respon sensor gas *array* dalam mendeteksi aroma kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari-Jember.
2. Mengetahui kinerja sensor gas *array* dalam mendeteksi aroma kopi robusta Sidomulyo dan Bangsalsari-Jember berdasarkan uji *reproducibility*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Kopi yang digunakan adalah jenis kopi robusta Sidomulyo dan Bangsalsari.
2. *Chamber* yang digunakan merupakan *cylindrical chamber* dan *ring chamber*.
3. Sensor gas *array* yang digunakan terdiri dari 8 jenis sensor yaitu MQ-135, MQ-136, MQ-2, MQ-3, MQ-6, MQ-7, MQ-8, dan MQ-9.
4. Variabel yang digunakan yaitu suhu penyeduhan air 95°C dan ukuran partikel bubuk kopi 50-60 *mesh* yang telah dioptimasi pada penelitian sebelumnya.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu diharapkan mendapatkan desain *chamber* yang baik dalam mengidentifikasi pola respon sensor gas *array* terhadap kopi robusta Sidomulyo dan Bangsalsari-Jember. Data yang diperoleh dapat dijadikan sebagai *bank* data kopi Indonesia berdasarkan karakteristik aroma kopi menggunakan *electronic nose*.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kopi

2.1.1 Definisi Kopi

Kopi (*Coffea sp.*) merupakan tanaman perkebunan yang sudah lama dibudidayakan di Indonesia dan menjadi komoditas andalan ekspor serta sebagai salah satu sumber penghasil devisa negara (Rahardjo, 2017). Kementerian Perdagangan Indonesia (2020) mengatakan bahwa kopi merupakan salah satu komoditi utama Indonesia yang berada di urutan ke sepuluh statistik ekspor non-migas pada tahun 2019. Kopi (*Coffea sp.*) adalah spesies tanaman yang termasuk dalam famili *Rubiaceae* dan genus *Coffea*. Terdapat kira-kira 70 spesies kopi dalam genus *Coffea* yang diidentifikasi di dunia, namun kopi yang sering diproduksi dan dikonsumsi oleh masyarakat dunia adalah robusta (*Coffea canephora var. robusta*) dan arabika (*Coffea Arabica*). Produksi kopi dalam pangsa pasar nasional didominasi oleh kopi robusta mencapai 90% dan kopi arabika mencapai 10%. Sedangkan, produksi kopi dalam pangsa pasar dunia yaitu didominasi oleh kopi arabika mencapai 85%, kopi robusta 10%, dan kopi liberika dan ekselsa 5%. Klasifikasi tanaman kopi (*Coffea sp.*) yaitu sebagai berikut:

Kingdom	: <i>Plantae</i> (Tumbuhan)
Subkingdom	: <i>Tracheobionta</i> (Tumbuhan berpembuluh)
Super Divisi	: <i>Spermatophyta</i> (Tumbuhan penghasil biji)
Divisi	: <i>Magnoliophyta</i> (Tumbuhan berbunga)
Kelas	: <i>Magnoliopsida</i> (Tumbuhan berkeping dua/dikotil)
Sub Kelas	: <i>Asteridae</i>
Ordo	: <i>Rubiales</i>
Famili	: <i>Rubiaceae</i> (Suku kopi-kopian)
Genus	: <i>Coffea</i>
Spesies	: <i>Coffea sp.</i> [<i>Coffea arabica L.</i> (kopi arabika), <i>Coffea canephora var. robusta</i> (kopi robusta), <i>Coffea liberica</i> (kopi liberika), <i>Coffea excelsa</i> (kopi excelsa)].

(Rahardjo, 2017).

2.1.2 Kandungan Senyawa Kopi

Kopi terdiri dari campuran kimia kompleks yang mengandung lebih dari seribu senyawa kimia yang berbeda meliputi kafein, asam klorogenat, trigonelline, karbohidrat, lemak, asam amino, asam organik, aroma volatil dan mineral yang dapat menghasilkan efek yang menguntungkan dan membahayakan bagi kesehatan (Higdon dan Frei, 2006). Unsur terpenting pada biji kopi yaitu kafein. Kafein adalah salah satu jenis senyawa turunan alkaloid dari metal xantin yaitu 1,3,7-trimetil xantin dan berfungsi sebagai perangsang. Golongan asam pada kopi akan mempengaruhi mutu kopi karena merupakan salah satu senyawa yang dapat memberikan aroma khas pada kopi. Asam klorogenat merupakan kandungan asam yang dominan pada kopi yaitu sekitar 8%, sedangkan 4,5% pada kopi sangrai. Proses selama penyangraian sebagian besar asam klorogenat akan terhidrolisis menjadi asam kafeat dan asam kuintat (Aziz *et al.*, 2009).

Proses penyangraian menyebabkan senyawa kimia yang terkandung di dalam kopi akan ditransformasikan menjadi ribuan senyawa, sehingga menghasilkan seduhan kopi dengan citarasa yang khas. Senyawa yang mempengaruhi citarasa kopi yaitu kafein, asam klorogenat, trigonelline, gula dan kandungan padatan terlarut. Gula total dan gula non-reduksi yang bertanggung jawab pada pembentukan *flavor caramely* dan *sweetness* pada seduhan (Yusianto dan Nugroho, 2014).

Tabel 2.1 Beberapa Senyawa Volatil pada Aroma Kopi saat 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>
Vanillin	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-metoksipirazin	0,0015	<i>Earthy, Roasty</i>
Mutanatiol	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: Oestreich-Janzen, 2013)

2.1.3 Jenis-jenis Kopi

Jenis-jenis kopi yang terdapat di Indonesia terdiri dari kopi jenis arabika, robusta, liberika dan ekselsa.

a. Kopi Arabika (*Coffea arabica*)

Kopi arabika (*Coffea arabica*) merupakan jenis kopi yang berasal dari Afrika tepatnya di daerah pegunungan Ethiopia dan jenis kopi yang pertama kali dibudidayakan di Indonesia (Rahardjo, 2017). Kopi arabika hidup di daerah ketinggian antara 700-1700 m di atas permukaan laut dan daerah-daerah dengan suhu sekitar 16-20°C (Winarno dan Darsono, 2019). Penanaman pada daerah tersebut dilakukan dengan tujuan agar tidak mudah terserang karat daun. Karat daun sangat rentang pada kopi jenis ini, terutama pada ketinggian lahan kurang dari 600 sampai 700 m dpl. Penyakit karat daun ini disebabkan oleh jamur *Hemileia vastatrix*. Karat daun ini dapat menyebabkan kerusakan dan kematian pada tanaman serta kerugian hasil yang sangat besar. Kandungan kafein pada kopi jenis ini lebih rendah dibandingkan kopi jenis robusta dan mempunyai kualitas cita rasa yang tinggi sehingga harganya lebih mahal dari pada jenis kopi lainnya (Rahardjo, 2017).

Kopi arabika memiliki aroma yang wangi sedap seperti pencampuran bunga dan buah, kental saat diseduh, dan rasanya yang asam. Ukuran biji kopi arabika cukup kecil dan mempunyai warna hijau hingga merah gelap. Kopi jenis arabika ini berbuah sekali dalam setahun. Rata-rata produksi kopi jenis ini yaitu sedang sekitar 4,5-5 Kw kopi beras/Ha/Th (Winarno dan Darsono, 2019). Komposisi

kimia yang terkandung dalam biji kopi arabika sebelum dan sesudah disangrai dalam %bobot kering dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Biji Kopi Arabika sebelum dan sesudah Disangrai

Komponen	Arabika Green (%)	Arabika Roasted (%)
Mineral	3,00-4,20	3,50-4,50
Kafein	0,90-1,20	1,00
Trigonelline	1,00-1,20	0,50-1,00
Lipid	12,00-18,00	14,50-20,00
Asam klorogenat	5,50-8,00	1,20-2,30
Asam alifatik	1,50-2,00	1,00-1,50
Asam amino	2,00-11,00	0,00-13,00
Protein	11,00-13,00	13,00-15,00
Asam humin	16,00-17,00	16,00-17,00

(Sumber: Rabersyah *et al.*, 2016)

b. Kopi Robusta (*Coffea Robusta*)

Kopi robusta tumbuh baik di lahan dataran rendah yaitu pada ketinggian 400-700 m di atas permukaan laut dan daerah-daerah dengan suhu sekitar 21-24°C. Kopi robusta resisten terhadap penyakit karat daun (*Hemileia vastatrix*) (Winarno dan Darsono, 2019). Hal tersebut membuat kopi robusta banyak dibudidayakan di Indonesia yang daerahnya didominasi dataran rendah (Rahardjo, 2017). Kopi robusta mengandung kafein dengan kadar yang lebih tinggi sehingga mempunyai rasa yang lebih pahit, rasanya sedikit asam, dan teksturnya lebih kasar. Produksi kopi jenis ini lebih tinggi daripada kopi jenis arabika dan liberika yaitu kira-kira 9-13 Kw kopi beras/Ha/Th (Winarno dan Darsono, 2019). Komposisi kimia yang terkandung dalam biji kopi robusta sebelum dan sesudah disangrai dalam %bobot kering dapat dilihat pada Tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Biji Kopi Robusta sebelum dan sesudah Disangrai

Komponen	Robusta Green (%)	Robusta Roasted (%)
Mineral	4,00-4,50	4,60-5,00
Kafein	1,60-2,40	2,00
Trigonelline	0,60-0,75	0,30-0,60
Lipid	9,00-13,00	11,00-16,00
Asam klorogenat	7,00-10,00	3,90-6,00
Asam alifatik	1,50	1,00-1,50

Asam amino	-	-
Protein	-	16,00-17,00
Asam humin	-	16,00-17,00

(Sumber: Rabersyah *et al.*, 2016)

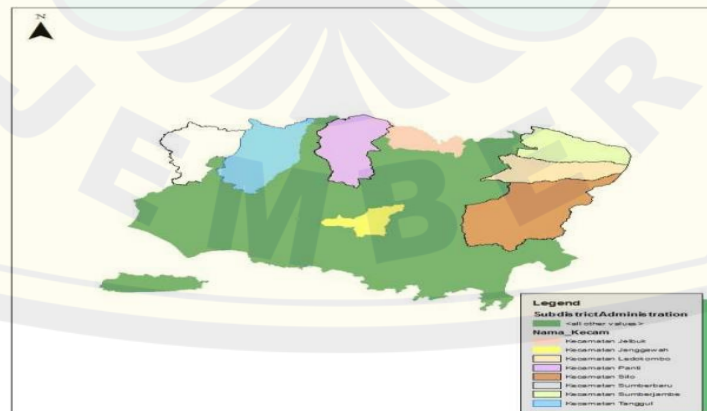
c. Kopi Liberika (*Coffea Liberica*)

Kopi liberika dapat tumbuh di dataran rendah (Ridwansyah, 2003). Kopi liberika mempunyai ukuran daun, cabang, bunga, buah dan pohon yang lebih besar dibandingkan kopi jenis arabika dan robusta. Jenis kopi ini mempunyai kualitas buah yang relatif rendah dan ukuran buahnya yang tidak seragam atau tidak merata. Kopi liberika agak peka terhadap penyakit karat daun (*Hemileia vastatrix*). Jenis tanaman ini dapat berbuah sepanjang tahun dan produksi kopi yaitu sedang sekitar 4,5-5 Kw/Ha/Th dengan rendemen sebesar 12% (Winarno dan Darsono, 2019).

d. Kopi Ekselsa

Kopi ekselsa banyak dibudidayakan di dataran rendah yang basah yaitu daerah yang tidak sesuai untuk kopi robusta. Kopi jenis ini mempunyai adaptasi iklim lebih luas seperti kopi liberika. Kopi ekselsa tidak terlalu peka terhadap penyakit karat daun (*Hemileia vastatrix*). Kopi ekselsa berbuah lambat, ukuran buah lebih kecil dan tidak seragam seperti kopi liberika. Tanaman jenis ini mempunyai batang yang kekar dan memerlukan jarak tanam relatif lebar (Winarno dan Darsono, 2019).

2.1.4 Kopi Robusta Jember



Gambar 2.1 Peta Potensi Kopi di Kabupaten Jember (Sumber: Fadah *et al.*, 2013)

Areal perkebunan kopi di Kabupaten Jember seluas 18.321 ha (BPS Jawa Timur, 2019), dimana 6.629,08 ha diantaranya perkebunan kopi rakyat. Perkebunan kopi rakyat tersebar di 16 kecamatan dengan jumlah produksi pada tahun 2019 sebesar 4.930,60 ton (BPS Kabupaten Jember, 2020). Enam belas kecamatan tersebut diantaranya yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.4 Luas Areal Perkebunan dan Produksi Tanaman Kopi Berdasarkan Kecamatan di Kabupaten Jember pada Tahun 2019

No	Kecamatan	Luas Area (ha)	Produksi (ton)
1.	Silo	2.133,00	788,58
2.	Sumberbaru	1.535,90	1.064,85
3.	Bangsalsari	870,00	997,00
4.	Tanggul	416,00	409,02
5.	Jelbuk	381,00	0,60
6.	Arjasa	324,60	162,30
7.	Panti	234,00	197,74
8.	Sukorambi	215,00	179,00
9.	Sumberjambe	213,50	108,50
10.	Mayang	91,00	25,86
11.	Ledokombo	66,28	18,50
12.	Patrang	65,00	875,85
13.	Mumbulsari	50,00	50,00
14.	Tempurejo	30,00	51,00
15.	Pakusari	2,80	1,80
16.	Kaliwates	1,00	-

(Sumber: Badan Pusat Statistik Kabupaten Jember 2020)

Areal perkebunan kopi yang terluas di Kabupaten Jember yaitu Kecamatan Silo. Desa Sidomulyo merupakan salah satu desa yang berada di Kecamatan Silo Kabupaten Jember yang mempunyai komoditas unggulan berupa kopi robusta. Desa Sidomulyo terletak pada ketinggian ± 560 meter dpl (Rokhani, 2012).

2.2 Sensor Gas

2.2.1 Definisi Sensor Gas

Sensor gas merupakan alat yang dapat menghasilkan sinyal listrik yang besarnya sebanding dengan konsentrasi gas, sebagai fungsi interaksinya dengan senyawa kimia seperti gas atau uap senyawa organik (Rabersyah *et al.*, 2016). Konsep yang digunakan pada sensor gas yaitu perubahan sifat elektronik dari

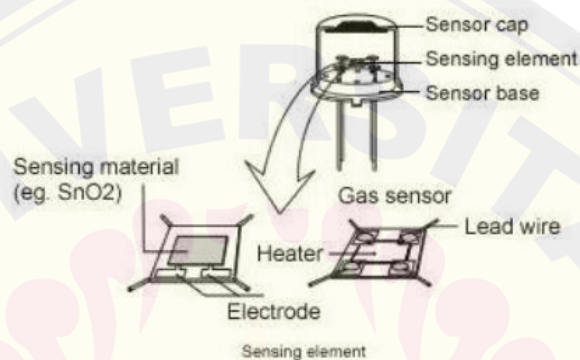
suatu bahan apabila berinteraksi dengan gas tertentu (Ramgir *et al.*, 2013). Berdasarkan bahan atau material pembentuknya, sensor gas dapat dibedakan menjadi 3 jenis diantaranya yaitu jenis *metal oxide semiconductor* (MOS), *conducting polymer* (CP), dan sensor piezoelektrik seperti *quartz crystal microbalances* (QCM). Sensor gas yang paling banyak digunakan untuk membangun sistem *electronic nose* yaitu sensor berjenis MOS. Sensor jenis *metal oxide semiconductor* (MOS) memiliki beberapa keunggulan diantaranya yaitu konsumsi daya yang rendah, sensitivitas sensor yang tinggi, dan harga yang relatif murah (Bedoui *et al.*, 2013).

Saat ini teknologi sensor gas telah dikembangkan diantaranya sensor elektrokimia, infra merah, fotoionisasi, katalitik, dan *solid-state*. Sensor *solid-state* mempunyai kelebihan diantaranya yaitu ukuran sangat kecil, relatif murah, selektivitas tinggi, dan umur yang panjang. Sensor *solid-state* dikenal juga sebagai sensor gas semikonduktor (SGS) karena menggunakan satu atau lebih oksida logam semikonduktor sebagai elemen sensornya. Oksida logam semikonduktor digunakan baik dalam bentuk oksida logam tunggal maupun campuran. Oksida logam tunggal seperti timah oksida (SnO_2), seng oksida (ZnO_2), titanium oksida (TiO_2), besi oksida (Fe_2O_3), wolfram oksida (WO_3), dan gallium oksida (Ga_2O_3), sedangkan oksida logam campuran, seperti BiFeO_3 , MgAl_2O_4 , dan SrTiO_3 (Asrorudin, 2009).

Timah oksida (SnO_2) merupakan oksida logam yang sering digunakan sebagai elemen sensor *solid state*. Timah oksida (SnO_2) murni adalah material semikonduktor tipe-n dengan nilai *band gap* lebar sebesar E_g 3,6 eV. Penggunaan SnO_2 sebagai elemen sensor mempunyai kelebihan diantaranya yaitu ukurannya dapat dibuat sangat kecil (nano film dan kawat nano), murah dan reaktifitas yang tinggi dalam mereduksi gas sehingga sangat sensitif dan selektif dalam mendeteksi gas (Asrorudin, 2009).

Pada sensor *solid-state*, keberadaan gas akan teradsorpsi pada permukaan elemen sensor (oksida logam) yang selanjutnya mendisosiasi gas menjadi ion atau kompleks bermuatan. Akibatnya, terjadi transfer elektron dan perubahan konduktivitas material sensor yang dibaca oleh elektroda sebagai sinyal indikasi

keberadaan gas dalam sistem sensor. Seiring dengan hilangnya gas maka elemen sensor berubah ke kondisi semula tanpa ada bagian material sensor yang hilang atau habis selama proses tersebut berlangsung. Keunggulan lain dari sensor *solid-state* yaitu waktu hidup sensor yang lebih lama. Pemanas (*heater*) dalam sistem sensor *solid-state* tidak akan merusak material namun hanya berfungsi untuk mendapatkan temperatur optimal oksida logam dalam mendeteksi keberadaan gas (Asrorudin, 2009).

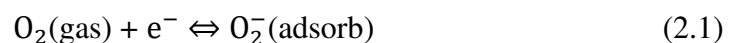


Gambar 2.2 Struktur Sensor Gas (Sumber: Rabersyah *et al.*, 2016)

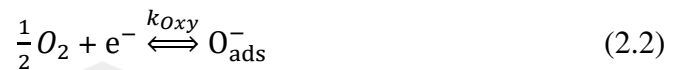
Berdasarkan Gambar 2.2 diatas, sensor gas terdiri dari tudung sensor, elemen sensor, dan dasar sensor. Elemen sensor terdiri atas bahan sensor dan bahan pemanas untuk memanaskan elemen. Elemen sensor menggunakan bahan seperti timah oksida (SnO_2), wolfram oksida (WO_3), dan lain-lain, tergantung pada gas yang hendak dideteksi (Rabersyah *et al.*, 2016).

2.2.2 Prinsip Kerja Sensor Gas

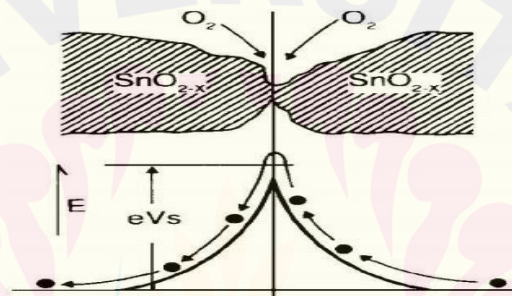
Sensor gas tipe *metal oxide semiconductor* (MOS) mempunyai suhu pengoperasian optimal pada suhu tinggi yaitu sekitar 250-350°C. Sensor gas MOS yang dipanaskan pada suhu rendah yaitu sekitar 100-200°C, menyebabkan molekul oksigen di atmosfer akan teradsorpsi di permukaannya dan membentuk molekul ion oksigen dengan menarik elektron dari pita konduksi. Persamaan reaksinya ditunjukkan sebagai berikut:



Sensor gas MOS yang dipanaskan pada suhu yang lebih tinggi maka molekul ion oksigen mengalami disosiasi menjadi atom ion oksigen dengan muatan negatif dengan menarik elektron lagi dari pita konduksi. Persamaan reaksinya ditunjukkan sebagai berikut:

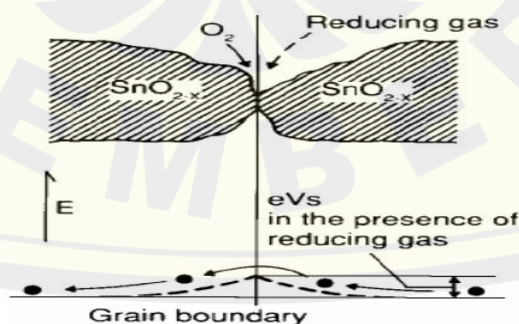


dimana, k_{Oxy} merupakan konstanta laju reaksi (Choopun *et al.*, 2012). Oksigen yang terserap akan membentuk penghalang potensial terhadap aliran elektron. Resistansi sensor digambarkan sebagai penghalang potensial.



Gambar 2.3 Penghalang Potensial antar Butir pada Keadaan Tanpa Gas yang Dideteksi (Sumber: Rivai *et al.*, 2009)

Ion oksigen pada permukaan MOS sangat aktif dengan molekul gas target dan melepaskan elektron dari permukaan kembali ke pita konduksi. Dengan kata lain, keberadaan gas target dapat menyebabkan penurunan jumlah oksigen yang terserap, sehingga penghalang potensial menurun. Penurunan penghalang potensial ini akan menurunkan resistansi sensor.



Gambar 2.4 Penghalang Potensial antar Butir dalam Lingkungan Gas (Sumber: Rivai *et al.*, 2009)

Persamaan reaksi kimia antara molekul gas target dan ion oksigen yaitu sebagai berikut:



dimana, X adalah gas target dan X' adalah gas keluar. Nilai b adalah jumlah elektron dan k_{gas} adalah konstanta laju reaksi dari reaksi gas (Choopun *et al.*, 2012).

Keberadaan gas target (gas pereduksi), seperti gas metana (CH₄) atau karbon monoksida (CO) akan menurunkan perbedaan potensial antar permukaan dan meningkatkan konduktivitas permukaan sensor kristal oksida logam. Keberadaan gas pengoksidasi akan menaikkan perbedaan potensial antar permukaan dan menurunkan konduktivitas permukaan sensor kristal oksida logam. Besarnya perubahan konduktivitas sangat dipengaruhi oleh suhu operasional alat, karakteristik morfologi dan geometri lapisan sensor, serta komposisi dan ukuran bahan aditif (Asrorudin, 2009).

2.2.3 Jenis Sensor MQ (*Mingan Qilail*)

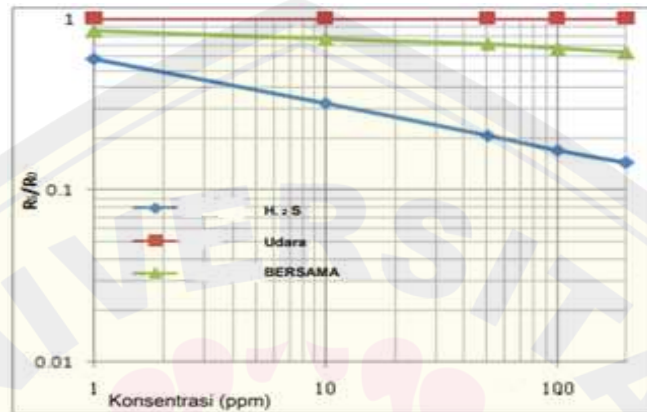
Sensor MQ merupakan salah satu jenis sensor MOS yang tersedia secara komersial dengan harga yang relatif murah. Sensor gas tipe MQ mempunyai beberapa kelebihan diantaranya mudah diperoleh di pasaran, konsumsi daya yang rendah, berukuran kecil, tersedia dalam bentuk modul (Fadlilah, 2021). Jenis-jenis sensor gas MQ dapat dibedakan menjadi beberapa tipe diantaranya sebagai berikut:

a. Sensor MQ-136

Sensor gas MQ-136 merupakan sensor yang mempunyai sensitivitas tinggi terhadap gas hidrogen sulfida (H₂S) dalam rentang deteksi 1-200 ppm. Sensor ini mempunyai konduktivitas lebih rendah di udara bersih. Konduktivitas sensor akan semakin tinggi seiring dengan meningkatnya konsentrasi gas H₂S. Bahan sensitif sensor gas MQ-136 yaitu timah oksida (SnO₂). Keunggulan dari sensor gas MQ-136 yaitu memiliki umur panjang, biaya rendah, dan sirkuit penggerak sederhana. Sensor ini banyak diaplikasikan untuk alarm gas H₂S domestik, alarm kebocoran gas H₂S industri dan sebagai detektor gas H₂S portabel (Winsen, 2020).



Gambar 2.5 Bentuk Fisik Sensor MQ-136 (Sumber: Winsen, 2020)



Gambar 2.6 Karakteristik Sensitivitas Sensor MQ-136 (Sumber: Winsen, 2020)

Berdasarkan Gambar 2.6 di atas menjelaskan hubungan antara resistansi sensor dan konsentrasi gas, dimana R_s merupakan resistansi sensor di berbagai konsentrasi gas dan R_0 merupakan resistensi sensor di udara bersih (Winsen, 2020).

b. Sensor MQ-135

Sensor gas MQ-135 merupakan sensor yang mempunyai sensitivitas yang baik terhadap gas berbahaya dalam jangkauan luas, serta mempunyai sensitivitas tinggi terhadap amonia, sulfida, dan benzene dalam rentang deteksi 10-1000 ppm. Keunggulan dari sensor gas MQ-135 yaitu memiliki umur panjang, biaya rendah, dan sirkuit penggerak sederhana. Sensor ini banyak digunakan dalam alarm gas rumah tangga dan industri, serta detector gas portabel (Winsen, 2020).



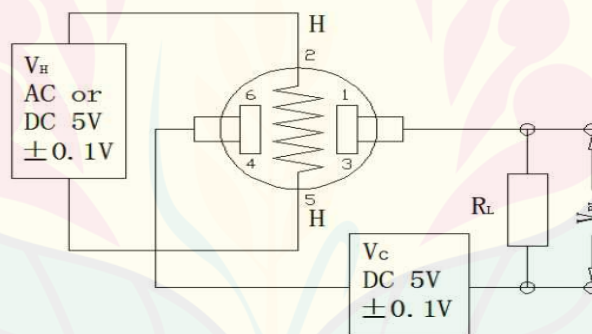
Gambar 2.7 Bentuk Fisik Sensor MQ-135 (Sumber: Winsen, 2020)

c. Sensor MQ-2

Sensor gas MQ-2 merupakan sensor yang mempunyai sensitivitas tinggi terhadap propane dan asap, serta dapat mendeteksi gas alam dan gas yang mudah terbakar pada rentang deteksi 300-10.000 ppm. Keunggulan dari sensor gas MQ-2 diantaranya yaitu memiliki umur panjang, stabil, respon cepat, sensitivitas tinggi, serta sirkuit penggerak sederhana. Sensor ini banyak digunakan dalam alarm kebocoran gas rumah tangga, alarm gas industri yang mudah terbakar, dan detektor gas portabel (Winsen, 2020).



Gambar 2.8 Bentuk Fisik Sensor MQ-2 (Sumber: Winsen, 2020)

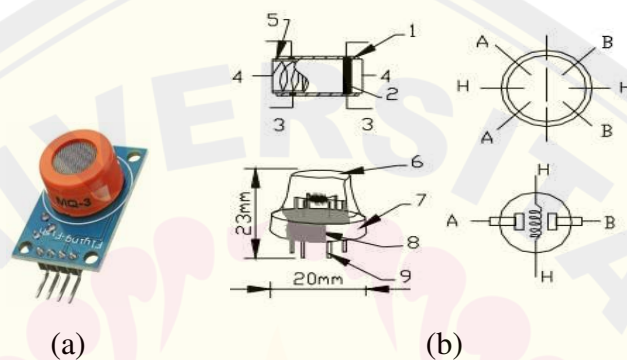


Gambar 2.9 Rangkaian Uji Dasar Sensor MQ-2 (Sumber: Winsen, 2020)

Berdasarkan Gambar 2.9 di atas menunjukkan rangkaian uji dasar sensor MQ-2 yang membutuhkan 2 input tegangan yaitu tegangan sirkuit (V_C) dan tegangan pemanas (V_H). Tegangan pemanas (V_H) digunakan untuk memasok suhu kerja standar ke sensor dan mengadopsi daya AC atau DC pada $5,0V \pm 0,1V$. V_{RL} adalah tegangan resistansi beban R_L yang seri dengan sensor. Tegangan sirkuit (V_C) digunakan untuk memasok tegangan deteksi ke resistansi bebas R_L dan harus mengadopsi DC pada $5,0V \pm 0,1V$ (Winsen, 2020).

d. Sensor MQ-3

Sensor gas MQ-3 merupakan sensor yang mempunyai sensitivitas tinggi terhadap alkohol pada rentang deteksi 0,05 mg/L–10 mg/L dan sensitivitas kecil terhadap benzena. Keunggulan dari sensor gas MQ-3 diantaranya yaitu memiliki respon cepat, sensitivitas tinggi, stabil, mempunyai umur panjang, serta sirkuit penggerak sederhana. Sensor ini cocok diaplikasikan untuk mengetahui dan mengukur kadar alkohol dalam tubuh atau *breathalyzer* (China-total, 2020).



Gambar 2.10 Sensor MQ-3 (a) Bentuk Fisik; (b) Struktur (Sumber: China-total, 2020)

Struktur sensor gas MQ-3 berdasarkan Gambar 2.10(b) diatas, dijelaskan pada Tabel 2.5 berikut.

Tabel 2.5 Struktur Sensor MQ-3

No	Bagian	Material
1	Penginderaan gas lapisan	SnO ₂
2	Elektroda	Au
3	Garis elektroda	Pt
4	Koil pemanas	Paduan Ni-Cr
5	Keramik berbentuk tabung	Al ₂ O ₃
6	Anti ledakan jaringan	Kain kasa <i>stainless steel</i> (SUS316 100 mesh)
7	Cincin penjepit	Pelapisan tembaga Ni
8	Basis resin	Bakelite
9	Pin tabung	Pelapisan tembaga Ni

(Sumber: China-total, 2020)

e. Sensor MQ-6

Sensor gas MQ-6 merupakan sensor yang mempunyai sensitivitas tinggi terhadap LPG, propana, LNG dan isobutana pada rentang deteksi 200-10.000 ppm

serta mempunyai sensitivitas rendah terhadap alkohol dan asap. Keunggulan dari sensor gas MQ-6 diantaranya yaitu mempunyai respon cepat, stabil, mempunyai umur panjang, serta sirkuit penggerak sederhana. Sensor ini banyak diaplikasikan untuk alat pendeteksi kebocoran gas dalam rumah tangga dan industri, pendeteksi (LPG, iso-butana, propana, dan LNG), serta alat untuk menghindari kebisingan alkohol dan asap (China-total, 2020).



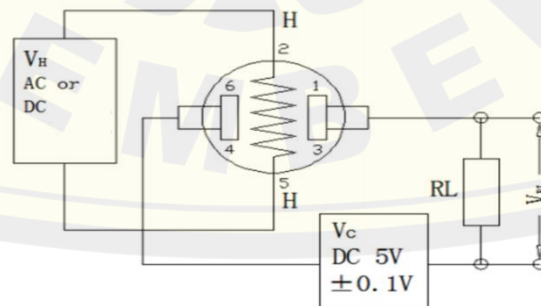
Gambar 2.11 Bentuk Fisik Sensor MQ-6 (Sumber: China-total, 2020)

f. Sensor MQ-7

Sensor gas MQ-7 merupakan sensor yang mempunyai sensitivitas tinggi terhadap karbon monoksida (CO) pada rentang deteksi 10-500 ppm. Mendeteksi gas CO dilakukan dengan metode siklus suhu rendah (1,5V) dan tinggi (5,0V). Pada suhu tinggi digunakan untuk membersihkan gas lain yang terserap pada suhu rendah. Sensor ini mempunyai keunggulan yaitu stabil, biaya rendah dan umur panjang. Sensor gas MQ-7 banyak digunakan dalam alarm kebocoran gas CO domestik dan industri, serta detektor gas CO portabel (Winsen, 2020).



Gambar 2.12 Bentuk Fisik Sensor MQ-7 (Sumber: Winsen, 2020)



Gambar 2.13 Rangkaian Uji Dasar Sensor MQ-7 (Sumber: Winsen, 2020)

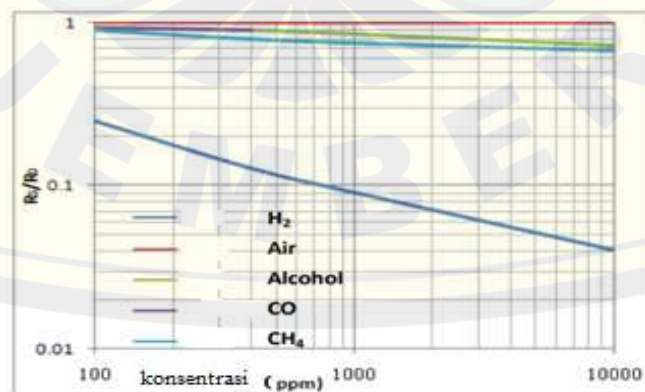
Berdasarkan Gambar 2.13 diatas menunjukkan rangkaian uji dasar sensor MQ-7 yang membutuhkan 2 input tegangan yaitu tegangan sirkuit (V_C) dan tegangan pemanas (V_H). Tegangan pemanas (V_H) digunakan untuk memasok suhu kerja standar ke sensor dan mengadopsi daya AC atau DC. V_H pada sensor ini harus berada di $1,5V \pm 0,1V$ (tegangan rendah) untuk mendeteksi CO sementara pada $5V \pm 0,1V$ (tegangan tinggi) pada status non-deteksi. Tegangan tinggi dan tegangan rendah bekerja secara sirkuler. V_{RL} adalah tegangan resistansi beban R_L yang seri dengan sensor. Tegangan sirkuit (V_C) digunakan untuk memasok tegangan deteksi ke resistansi bebas R_L dan harus mengadopsi DC pada $5,0V \pm 0,1V$ (Winsen, 2020).

g. Sensor MQ-8

Sensor gas MQ-8 merupakan sensor yang mempunyai sensitivitas tinggi terhadap hidrogen (H_2) pada rentang deteksi 100-1000 ppm, dan memiliki anti-interferensi pada gas lain. Sensor ini memiliki keunggulan yaitu biaya rendah dan umur panjang. Sensor gas MQ-8 banyak diaplikasikan untuk alat pendeteksi kebocoran gas rumah tangga, alarm gas industri yang mudah terbakar, dan detektor gas portabel (Winsen, 2020).



Gambar 2.14 Bentuk Fisik Sensor MQ-8 (Sumber: Winsen, 2020)



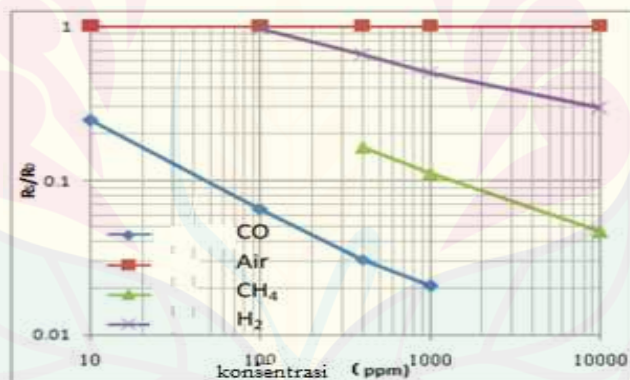
Gambar 2.15 Karakteristik Sensitivitas Sensor MQ-8 (Sumber: Winsen, 2020)

h. Sensor MQ-9

Sensor gas MQ-9 merupakan sensor yang mempunyai sensitivitas tinggi terhadap karbon monoksida (CO) pada rentang deteksi 10-500 ppm dan metana (CH₄) pada rentang deteksi 300-10.000 ppm. Mendeteksi gas CO dilakukan dengan metode siklus suhu rendah (1,5V) dan tinggi (5,0V). Pada suhu tinggi digunakan untuk membersihkan gas lain yang terserap pada suhu rendah. Kelebihan sensor ini yaitu stabil, biaya rendah dan mempunyai umur panjang. Sensor gas MQ-9 banyak digunakan dalam alarm kebocoran gas CO domestik, alarm gas CO industry, dan detector gas CO portabel (Winsen, 2020).



Gambar 2.16 Bentuk Fisik Sensor MQ-9 (Sumber: Winsen, 2020)

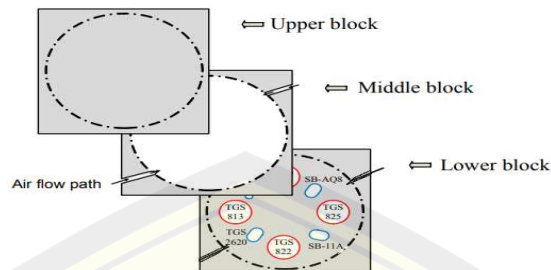


Gambar 2.17 Karakteristik Sensitivitas Sensor MQ-9 (Sumber: Winsen, 2020)

2.3 Sensor Array

Sensor *array* merupakan kumpulan sensor yang digunakan untuk mengumpulkan informasi mengenai bahan yang sedang diuji. Sensor *array* ini terdiri dari sensor-sensor yang berbeda dan memiliki sensitivitas yang berbeda pula. Sensor array akan mengubah informasi kimia dari sampel (gas) menjadi sinyal-sinyal yang dapat terukur (LeBlanc, 2010). Konduru *et al.*, (2015) telah melakukan penelitian mengenai pola respon sensor gas *array* dalam mendeteksi

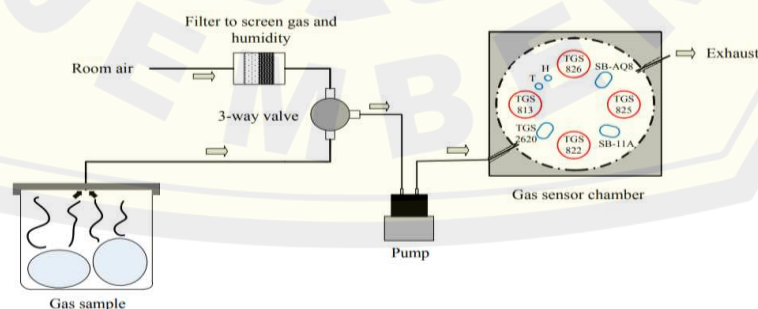
senyawa volatil yang dikeluarkan oleh bawang. Sensor *array* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Diagram Skematik untuk Membuat Ruang Sensor Gas (Sumber: Konduru *et al.*, 2015)

Chamber yang digunakan berbahan teflon yang berbentuk persegi dengan ukuran 132 x 132 x 19,8 mm. *Chamber* tersebut dipotong menjadi tiga bagian yaitu bagian bawah diberi lubang untuk meletakkan sensor MOS, sedangkan bagian tengah diberi lubang melingkar dengan diameter 112 mm untuk menyediakan ruang bagi sensor.

Desain mekanik dari percobaan Konduru *et al.*, (2015) ini adalah sampel gas ditarik menggunakan pompa dan katup tiga arah yang dioperasikan pada 12 VDC. Satu jalur dilengkapi dengan filter untuk mengalirkan udara segar dan untuk membersihkan *chamber* sensor. Filter tersebut mengandung arang dan pengering untuk menghilangkan kelembaban dan bau yang tidak diinginkan di udara. Jalur aliran udara lainnya digunakan untuk mengalirkan sampel gas ke *chamber* sensor. Diameter tubing pada *chamber* sensor yang dipakai adalah sebesar 4,76 mm. Skematik diagram dari desain mekanik percobaan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

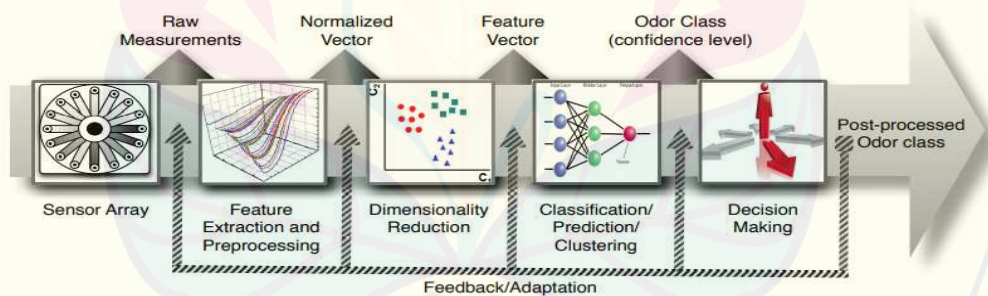


Gambar 2.19 Diagram Skematik Gas Sensor Array (Sumber: Konduru *et al.*, 2015)

2.4 *Electronic Nose*

Electronic nose adalah suatu penciuman elektronik yang prinsip kerjanya menirukan prinsip kerja dari indera penciuman manusia. Teknologi ini berupa sensor *array* yang dikembangkan untuk mendeteksi bau (Adam *et al.*, 2018). *Electronic nose* tersusun dari larik sensor gas (*array sensor*) yang berfungsi sebagai untuk mendeteksi bau atau aroma. Aroma akan dideteksi oleh beberapa sensor gas yang selanjutnya akan membentuk suatu pola tertentu. Pola ini kemudian akan dikenali menggunakan sistem pengenalan pola (Sadeghifard dan Esmaeilani, 2012).

Proses kerja dari *e-nose* dapat diilustrasikan pada Gambar 2.20 Bagian pertama dari blok diagram menunjukkan sebuah deret sensor yang merupakan *hardware* dari sebuah *e-nose*. Setelah sinyal dari deret sensor didapatkan dan disimpan dalam komputer, maka proses perhitungan (pemrosesan sinyal) pertama akan dimulai yang bertujuan untuk mengekstrak parameter deskriptif dari respon deret sensor dan mempersiapkan *feature vector* untuk proses selanjutnya (Aguilera *et al.*, 2012).



Gambar 2.20 Prinsip Kerja *Electronic Nose* (Sumber: Aguilera *et al.*, 2012)

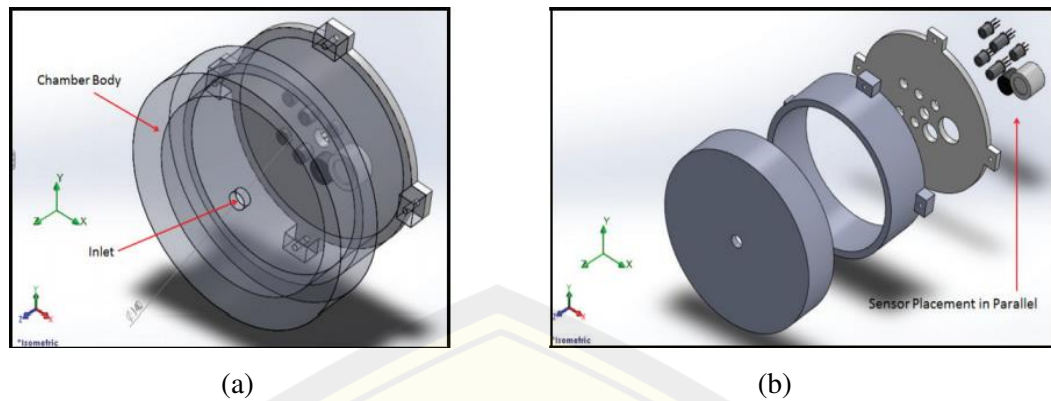
Tahap *dimensionality reduction* memproyeksikan *feature vector* awal menuju ke dimensi yang lebih rendah untuk menghindari masalah yang berhubungan dengan himpunan data yang tersebar pada dimensi yang lebih tinggi. *Feature vector* pada dimensi rendah yang telah dihasilkan akan digunakan untuk melakukan proses klasifikasi atau prediksi. Proses klasifikasi adalah identifikasi sebuah sampel gas yang tidak diketahui dengan menggunakan himpunan data yang telah melalui proses *training* (Aguilera *et al.*, 2012).

2.5 Chamber

Chamber perlu dirancang dengan benar untuk mengakomodasi sensor sehingga pengukuran sampel dapat optimal. Desain *chamber* akan menekankan pada respon sensor, stabilitas, *reproducibility*, dan *repeatability* (Di Francesco *et al.*, 2005). Menciptakan aliran yang homogen dengan kecepatan rendah di dalam *chamber* sangat penting untuk dilakukan, dengan tujuan untuk menghindari zona sirkulasi ulang yang signifikan dan volume yang stagnan. Aliran homogen ini untuk memastikan agar semua sensor dapat terpapar dengan sampel gas secara bersamaan. Beberapa kriteria yang perlu diperhatikan dalam merancang suatu *chamber* antara lain geometri struktur, material, laju aliran, dan pemilihan sensor (Scott *et al.*, 2004; Viccione *et al.*, 2012).

Chamber dengan volume yang lebih kecil akan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai kondisi baik, dibandingkan *chamber* dengan volume yang lebih besar. Hal ini dikarenakan *chamber* dengan volume yang lebih kecil mempunyai daerah stagnan yang besar sehingga lebih banyak gas yang terjebak di dalam *chamber* yang mempengaruhi aliran gas (Lezzi *et al.*, 2001). Posisi *inlet* dan *outlet* untuk sinyal respon sensor di ruang penginderaan juga perlu diperhatikan. Saluran masuk ditempatkan pada posisi yang lebih rendah untuk memungkinkan gas mengalir secara konstan melalui sensor gas. Saluran keluar ditempatkan pada posisi yang lebih tinggi, yang memaksa gas untuk mengalir melaluinya karena suhu di dalam ruangan lebih tinggi daripada suhu di luar (Ji *et al.*, 2009). Bentuk sensing *chamber* berperan penting dalam desain sensing *chamber* karena terbukti dapat mempengaruhi aliran gas dan sinyal respon sensor.

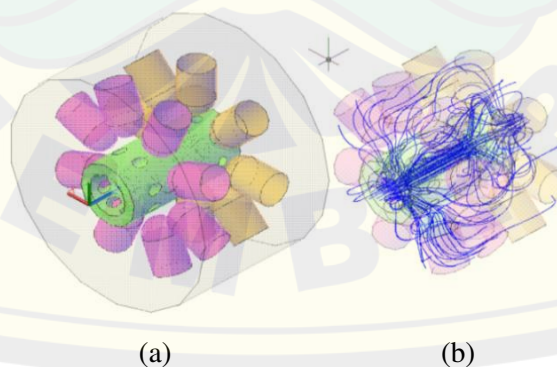
Bakar *et al.*, (2016) telah menerapkan *electronic nose* untuk pemantauan atmosfer di ruang terbatas dengan menggunakan *chamber* berbentuk silinder. Penelitian tersebut menggunakan 7 jenis sensor yang disusun secara paralel di dalam *chamber*. *Chamber* terbuat dari material teflon dan *polytetrafluoroethylene* (PTFE) yang desain dengan diameter 140 mm dan tinggi 74 mm.



Gambar 2.21 (a) Tampilan Isometrik; (b) Tampilan Desain Ruang Paralel (Sumber: Bakar *et al.*, 2016)

Hasil penelitian tersebut yaitu aliran gasnya tersebar merata ke seluruh ruang yang akan mengoptimalkan interaksi antara gas dengan sensor dan kecepatan aliran gasnya rendah yang akan memastikan respon sensor yang baik.

Penerapan *electronic nose* juga dilakukan oleh Viccione *et al.*, (2012) untuk menganalisis bau tak sedap dari lingkungan. *Chamber* yang digunakan pada penelitian tersebut yaitu desain *chamber* silinder 3D yang dilengkapi dengan diffuser dibagian tengahnya. Penggunaan sensor sebanyak 16 sensor yang diletakkan diatas dua lapisan horizontal yang berbeda, dimana pada setiap level ditempati oleh 8 sensor dan diposisikan dalam pola kutub. Penggunaan diffuser ini bertujuan untuk menyebarkan senyawa volatil yang diinjeksikan dalam *chamber* sehingga mencapai keadaan homogen. Desain *chamber* dapat dilihat sebagai berikut:

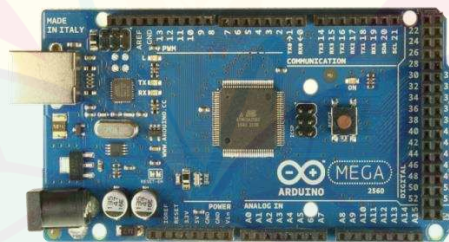


Gambar 2.22 (a) Tampilan Isometrik; (b) Arus Sampel Volatil (Sumber: Viccione *et al.*, 2012)

2.6 Arduino

Arduino merupakan sebuah *platform* dari *physical computing* yang bersifat *open source*. Arduino adalah kombinasi dari *hardware*, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment (IDE)* yang canggih. IDE adalah sebuah *software* yang berfungsi untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kode biner dan meng-*upload* ke dalam memori mikrokontroler. Arduino secara umum terdiri dari dua bagian diantaranya yaitu *hardware* dan *software*. *Hardware* meliputi papan *input* atau *output*, sedangkan *software* Arduino meliputi IDE untuk menulis program, *driver* untuk koneksi dengan komputer, contoh program dan *library* untuk pengembangan program (Djuandi, 2011).

Komponen utama dalam papan Arduino yaitu terdiri dari sebuah mikrokontroler 8 bit dengan merk ATmega. Penggunaan tipe ATmega diberbagai papan Arduino yaitu berbeda-beda tergantung dari spesifikasinya, misalnya Arduino Mega 2560 menggunakan ATmega 2560. Arduino Mega 2560 termasuk papan Arduino dengan spesifikasi yang lebih tinggi karena dilengkapi tambahan pin digital, pin analog, dan port serial (Djuandi, 2011). Arduino Mega 2560 dapat dilihat pada Gambar 2.24.

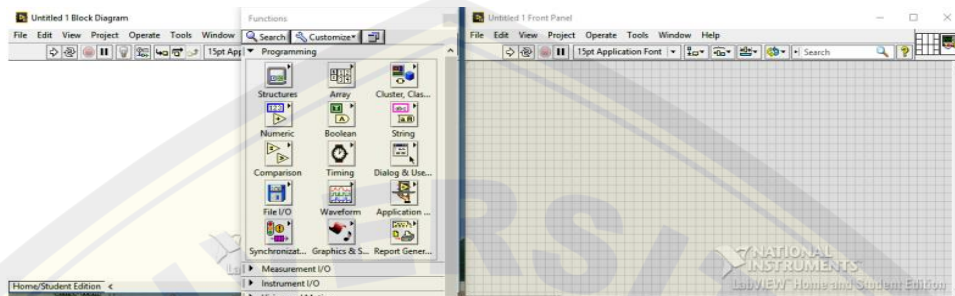


Gambar 2.23 Papan Arduino Mega 2560 (Sumber: Djuandi, 2011)

2.7 Software LabVIEW

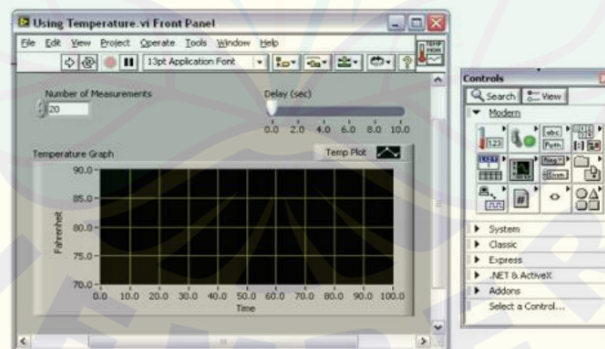
LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) merupakan sebuah *software* pemrograman yang diproduksi oleh National Instrument. *Software* ini dikembangkan dengan tujuan untuk akuisisi data dan sistem kontrol yang berbasis pemrograman grafik secara *real time*. *LabVIEW* adalah bahasa pemrograman secara grafis dengan menggunakan *icon* yang

dihubungkan oleh suatu garis (*wire*) untuk menciptakan suatu aplikasi *labVIEW* (Suryantoro dan Budiyanto, 2019). Program *labVIEW* sering disebut dengan *Virtual Instrument* (VI) yang dibangun oleh dua buah windows yaitu *front panel* dan *block diagram* (Larsen, 2011). Tampilan *software LabVIEW* dapat dilihat sebagai berikut:



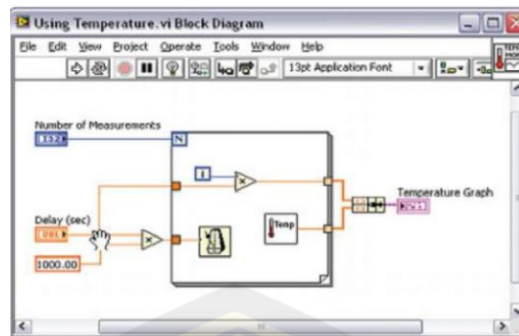
Gambar 2.24 *Software LabVIEW* (Sumber: Suryantoro dan Budiyanto, 2019)

Front panel menyediakan *interface* untuk pengguna yang akan mensimulasikan panel untuk *instrument* seperti knop, tombol, dan saklar. Tampilan *front panel* ditunjukkan pada Gambar 2.25 adalah *windows* yang digunakan untuk menampilkan hasil dari program simulasi yang telah dibuat. Hasil dari program yang telah dibuat bisa berupa tampilan nilai, grafik, lampu, tombol *stop* maupun proses *input output* terhadap program yang dibuat.



Gambar 2.25 Tampilan *Front Panel* (Sumber: Engineer Ambitiously-NI, 2020)

Tampilan diagram blok ditunjukkan pada Gambar 2.26 merupakan *windows* yang digunakan untuk membuat program yang telah dirancang algoritmanya. Program yang ada pada diagram blok yaitu program berbasis gambar (Larsen, 2011).

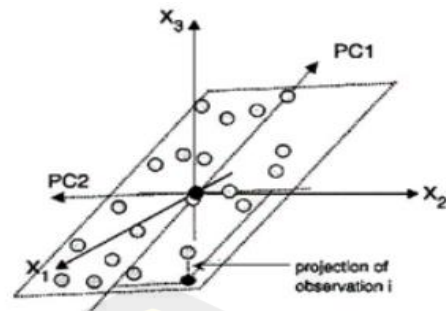


Gambar 2.26 Tampilan Diagram Blok (Sumber: Engineer Ambitiously-NI, 2020)

2.8 Principal Component Analysis (PCA)

Principal component analysis (PCA) merupakan kombinasi linear dari variabel awal yang secara geometris kombinasi linear ini merupakan sistem koordinat baru yang diperoleh dari rotasi sistem semula (Susetyoko, 2010). Perhitungan dari PCA didasarkan pada perhitungan nilai eigen dan vektor eigen yang menyatakan penyebaran data dari suatu dataset. Analisa PCA bertujuan untuk mereduksi variabel yang ada menjadi lebih sedikit tanpa harus kehilangan informasi yang termuat dalam data asli atau awal. Penggunaan PCA ini akan mereduksi variabel yang tadinya sebanyak n variabel menjadi k variabel baru (*principal component*) dengan jumlah k lebih sedikit dari n dan dengan hanya menggunakan k *principal component* akan menghasilkan nilai yang sama dengan menggunakan n variabel (Johnson dan Wichern, 2007). Variabel hasil dari reduksi tersebut dinamakan *principal component* atau disebut faktor. Sifat dari variabel baru yang terbentuk dengan analisis PCA nantinya selain mempunyai jumlah variabel yang berjumlah lebih sedikit tetapi juga menghilangkan korelasi antar variabel yang terbentuk (Martono *et al.*, 2012).

PCA mampu menjawab tantangan input sebuah citra digital dengan melakukan proses reduksi dari dimensi tinggi ke dimensi yang lebih rendah (Pratiwi dan Harjoko, 2013). Diagram proyeksi dimensi tinggi ke dimensi yang lebih rendah dapat dilihat pada Gambar 2.28 di bawah ini.



Gambar 2.27 Diagram Proyeksi Dimensi Tinggi ke Dimensi yang Lebih Rendah di PCA
(Sumber: Ferdiansyah *et al.*, 2015)

Menurut Martono *et al.*, (2012) algoritma PCA secara umum dapat dilihat sebagai berikut:

- a. Matrix Kovarian

$$\text{Cov}(xy) = \frac{\sum xy}{n} - (\bar{x})(\bar{y}) \quad (2.6)$$

- b. Nilai eigen

$$(A - \lambda I) = 0 \quad (2.7)$$

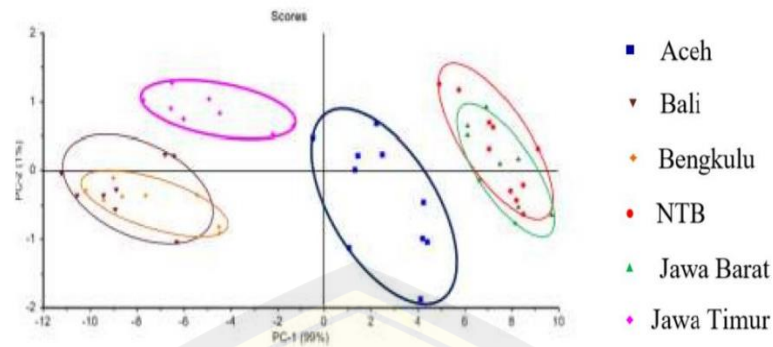
- c. Vektor eigen

$$[A - \lambda I][X] = [0] \quad (2.8)$$

- d. Tentukan variabel baru (*principal component*) dengan mengalikan variabel asli dengan matriks vektor eigen. Variansi yang dapat dijelaskan oleh variabel baru ke-I tergantung kontribusi ρ_i , dari masing-masing nilai eigen yang dihitung dengan rumus berikut:

$$\rho_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{j=1}^p \lambda_j} \times 100\% \quad (2.9)$$

Ramadhan *et al.*, (2016) berhasil mendeteksi daerah asal biji kopi arabika (*Coffea arabica*) dengan menggunakan metode analisis *principal component Analysis* (PCA). Sampel biji kopi arabika yang digunakan yaitu berasal dari enam Provinsi di Indonesia diantaranya yaitu Aceh, Bali, Bengkulu, Nusa Tenggara Barat, Jawa Barat, dan Jawa Timur. Hasil analisis PCA berdasarkan *raw* (data asli) spektrum yaitu dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.28 Hasil Analisis PCA berdasarkan *Raw* (data asli) Spektrum (Sumber: Ramadhan *et al.*, 2016)

Berdasarkan Gambar 2.28 diatas menunjukkan bahwa biji kopi yang berasal dari Provinsi Aceh dan Provinsi Jawa Timur terklasifikasi dengan baik karena tidak bercampur dengan Provinsi lain. Tingkat keberhasilan klasifikasi setiap provinsi yang diperoleh yaitu Aceh 100%, Bali 62,5%, Bengkulu 25%, NTB 30%, Jawa Barat 30%, dan Jawa Timur 100%.

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 (FMIPA) Universitas Jember dengan waktu pelaksanaan dimulai bulan Juni hingga Oktober 2021.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

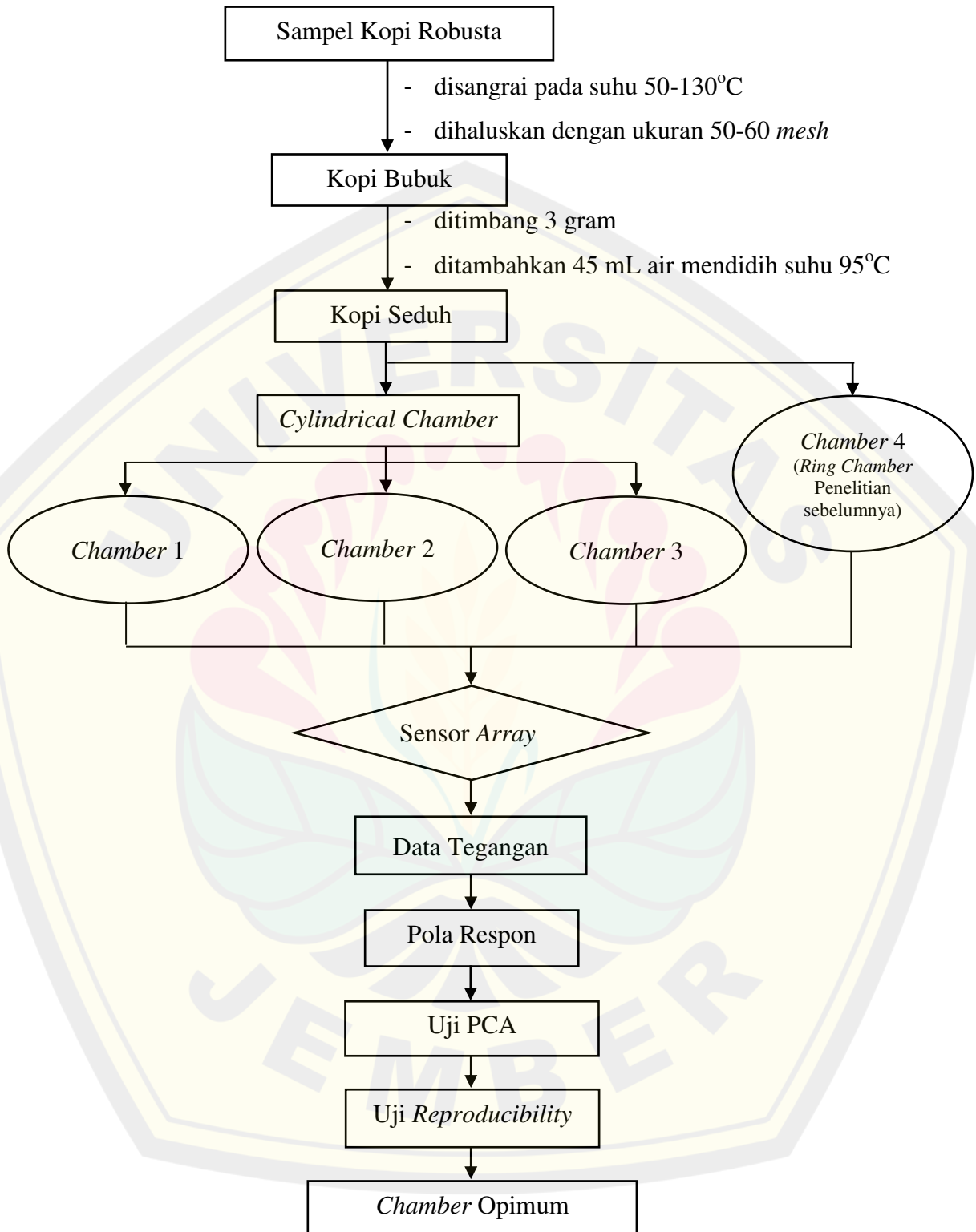
3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu gelas beaker, gelas ukur, *hot plate*, *magnetic stirrer*, *anak stirrer*, erlenmeyer, batang pengaduk, termometer, neraca analitik, statif, *grinder*, ayakan *mesh*, pompa, *cylindrical chamber*, *ring chamber* penelitian sebelumnya, laptop yang ter-*install software* LabVIEW 2018, sensor gas MQ (MQ-135, MQ-136, MQ-2, MQ-3, MQ-6, MQ-7, MQ-8, dan MQ-9) produksi *Hanwei Electronic*, dan Arduino Mega 2560.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kopi robusta kebun Sidomulyo, kopi robusta kebun Bangsalsari, dan air mineral merk “Aqua”.

3.3 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Identifikasi Aroma Kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari

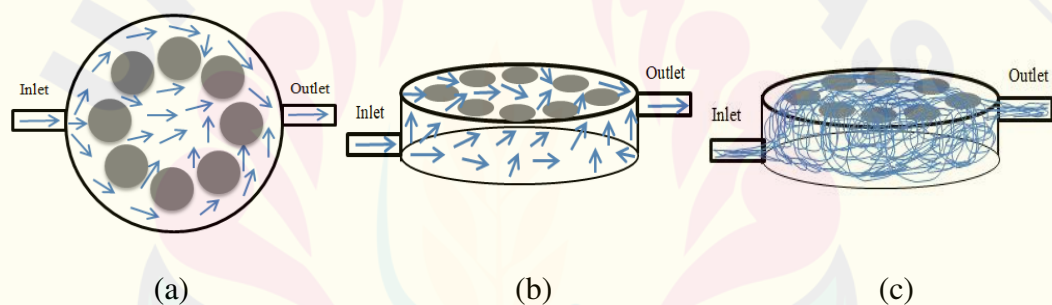
3.4 Prosedur Kerja

3.4.1 Pengambilan Sampel

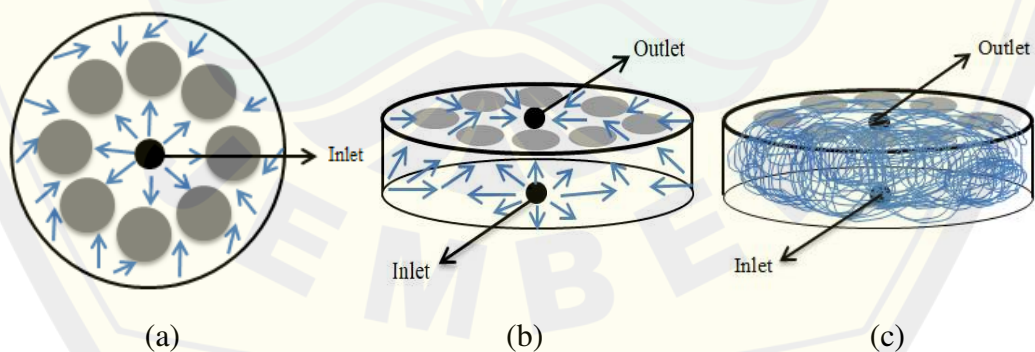
Biji kopi dibeli secara langsung dari petani kopi di Desa Sidomulyo, Kecamatan Silo dan petani kopi di Kecamatan Bangsalsari, Kabupaten Jember.

3.4.2 Rancangan Pembuatan *Chamber*

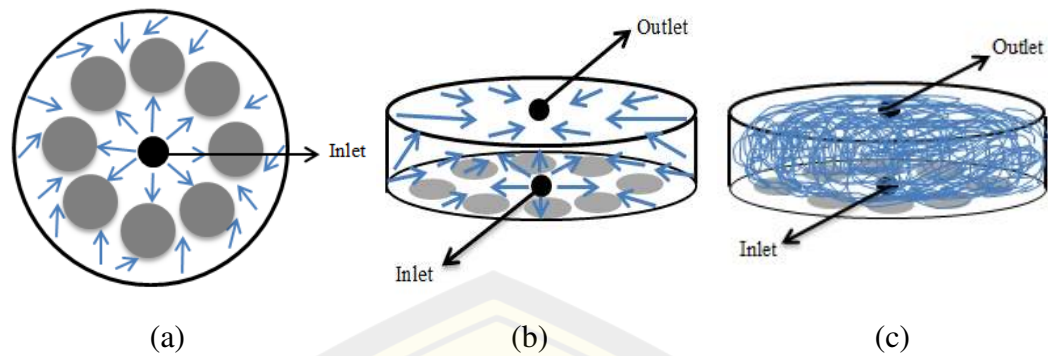
Desain *chamber* yang digunakan pada penelitian ini yaitu *cylindrical chamber*. *Chamber* tersebut terbuat dari material akrilik dengan diameter sebesar 10 cm, tinggi 5 cm, diameter *inlet* dan *outlet* yaitu 1 cm, serta memiliki volume sebesar 392,5 cm³. Penelitian ini menggunakan tiga variasi *chamber* dengan merubah posisi *inlet* dan *outlet* serta peletakan susunan sensornya. Beberapa *chamber* tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.2 *Chamber 1* (a) Ilustrasi Arah Aliran Gas Tampak Atas; (b) Tampak Samping, dan (c) Simulasi Aliran Gas dalam *Chamber*

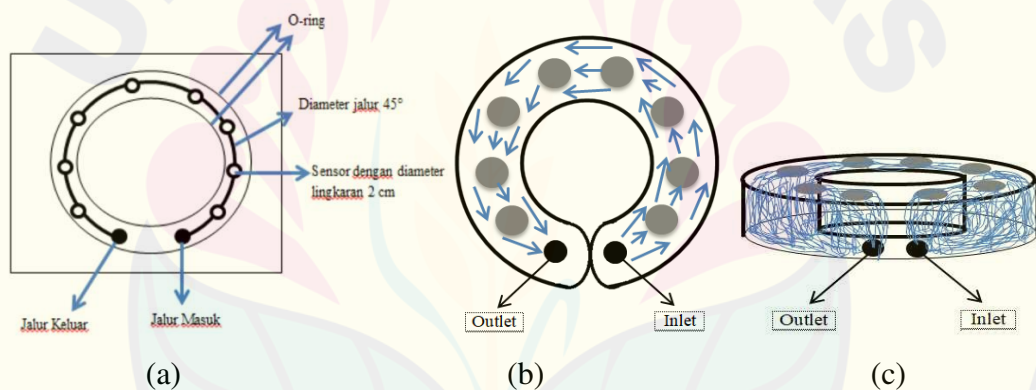


Gambar 3.3 *Chamber 2* (a) Ilustrasi Arah Aliran Gas Tampak Atas; (b) Tampak Samping, dan (c) Simulasi Aliran Gas dalam *Chamber*



Gambar 3.4 *Chamber 3* (a) Ilustrasi Arah Aliran Gas Tampak Atas; (b) Tampak Samping, dan (c) Simulasi Aliran Gas dalam *Chamber*

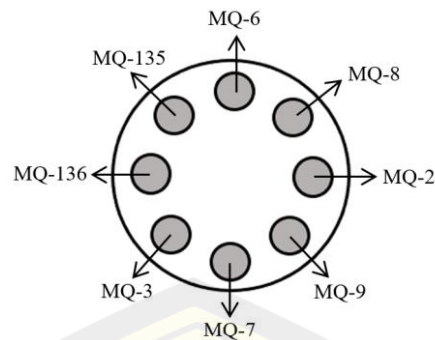
Desain *chamber* yang dijadikan sebagai pembanding pada penelitian ini yaitu *ring chamber design* karena dianggap sebagai *chamber* yang baik. *Chamber* tersebut merupakan desain *chamber* penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Jayanti (2020). Desain *ring chamber* dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



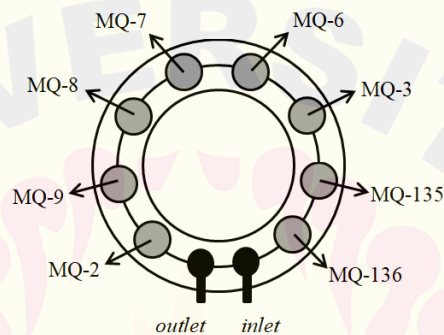
Gambar 3.5 (a) *Chamber 4* (*Ring Chamber* Penelitian Sebelumnya) (Sumber: Jayanti, 2020); (b) Aliran Gas Tampak Atas; dan (c) Simulasi Aliran

3.4.3 Rancangan Penyusunan Sensor

Sensor yang digunakan pada penelitian ini yaitu 8 jenis sensor gas MQ diantaranya sensor MQ-136, MQ-135, MQ-2, MQ-3, MQ-6, MQ-7, MQ-8, dan MQ-9. Sensor disusun melingkar dalam *cylindrical chamber*. Diameter lubang untuk tiap sensornya yaitu 2 cm. Desain rancangan penyusunan sensor dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.6 Susunan Sensor pada *Cylindrical Chamber*

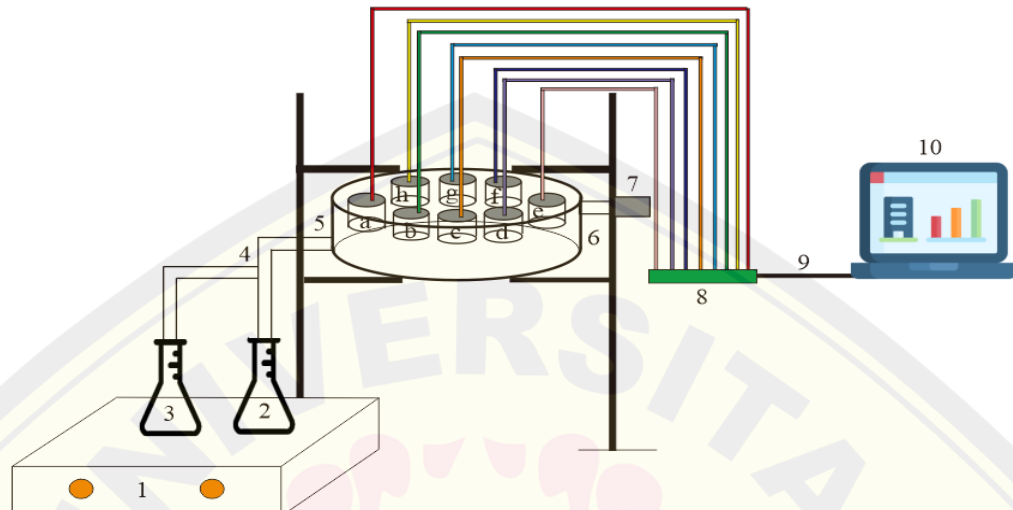


Gambar 3.7 Susunan Sensor pada *Chamber 4 (Ring Chamber Penelitian Sebelumnya)*
(Sumber: Fajerin, 2020)

3.4.4 Desain Susunan Alat

Desain alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dapat dilihat pada Gambar 3.8, dimana erlenmeyer yang berisi sampel kopi seduh diletakkan diatas *hot plate*. Erlenmeyer selanjutnya dihubungkan pada *cylindrical chamber* yang terdiri dari delapan jenis sensor. Masing-masing jenis sensor dihubungkan dengan Arduino Mega 2560 yang kemudian dihubungkan ke laptop yang telah *terinstall software LabVIEW* menggunakan kabel USB. Gas atau aroma kopi yang terbentuk dalam erlenmeyer akan melewati pipa dan mengalir menuju sensor dengan bantuan pompa. Sensor dalam *cylindrical chamber* tersebut akan memonitoring gas yang dihasilkan dari sampel kopi seduh sehingga diperoleh sinyal berupa sinyal analog. Sinyal analog yang dihasilkan dari masing-masing sensor akan menuju Arduino Mega 2560 untuk dikonversi menjadi sinyal digital. Arduino Mega 2560 berfungsi untuk menangkap sinyal yang direspon oleh sensor dalam bentuk tegangan (V) yang kemudian akan diteruskan menuju

laptop melalui *port USB* dan diolah menjadi data oleh *software LabVIEW*. Data yang dihasilkan berupa grafik (tegangan vs waktu). Desain alat dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.8 Desain Susunan Alat

Keterangan:

1 = Hotplate	4 = Pipa penghubung	8 = Arduino Mega 2560
2 = Erlenmeyer berisi kopi seduh	5 = Jalur masuk	9 = Port USB
3 = Erlenmeyer berisi Air	6 = Jalur keluar	10 = Laptop/PC
	7 = Pompa	a-h = Sensor Jenis MQ

3.4.4 Preparasi Sampel

Sampel kopi robusta Sidomulyo dan Bangsalsari yang telah kering kemudian disangrai dengan tingkat *medium dark*, yaitu pada suhu 50-130°C. Kopi selanjutnya dihaluskan dengan menggunakan alat *grinder*, lalu diayak dengan ukuran partikel 50-60 *mesh* (halus). Kopi yang telah dihaluskan selanjutnya ditimbang sebanyak 3 gram.

3.4.5 Pengukuran Aroma Kopi

Pengukuran aroma kopi robusta pada penelitian ini yaitu dilakukan dengan meletakkan dua buah erlenmeyer di atas *hotplate*. Erlenmeyer pertama berisi air

mineral merk “Aqua” sebanyak 45 mL, sedangkan erlenmeyer kedua berisi seduhan kopi. Kedua erlenmeyer tersebut dipanaskan diatas *hotplate* dengan kondisi kran/*valve* tertutup. Apabila suhu telah mencapai 95°C, kran/*valve* yang terhubung dengan erlenmeyer berisi air dibuka, dan bersamaan dengan menyalakan pompa, sehingga gas atau uap air yang terbentuk akan tertarik menuju sensor. Sensor dalam *chamber* tersebut akan memonitoring uap air yang dihasilkan sehingga diperoleh sinyal berupa sinyal analog. Sinyal analog yang dihasilkan dari masing-masing sensor akan menuju Arduino Mega 2560 untuk dikonversi menjadi sinyal digital. Arduino Mega 2560 berfungsi untuk menangkap sinyal yang direspon oleh sensor dalam bentuk tegangan (V) yang kemudian akan diteruskan menuju laptop melalui *port USB* dan diolah menjadi data oleh *software LabVIEW*.

Proses *running* pada uap air dilakukan hingga mencapai detik ke-150 dan kemudian secara bersamaan kran yang terhubung pada erlenmeyer berisi air ditutup sedangkan kran yang terhubung pada erlenmeyer seduhan kopi robusta dibuka. Proses *running* uap kopi robusta pada *chamber* 1 dilakukan hingga waktu mencapai detik ke-1200, *chamber* 2 hingga waktu mencapai detik ke-1500, dan *chamber* 3 hingga waktu mencapai detik ke-2000, serta *chamber* 4 hingga waktu mencapai detik ke-450. Pengukuran aroma kopi robusta dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali dengan tujuan untuk memperoleh data yang presisi. Data yang dihasilkan dari uap air akan dijadikan sebagai *baseline* dan hasil selisih antara sinyal uap kopi dengan uap air (*baseline*) merupakan data yang diperoleh (pola respon sensor gas aroma kopi robusta).

3.4.6 Metode Analisis

Data-data yang dihasilkan dari analisis sampel kopi robusta setelah diolah menggunakan *software LABVIEW* yaitu berupa grafik (tegangan vs waktu). Data yang diperoleh tersebut, selanjutnya dilakukan uji *Reproducibility* dan uji PCA (*Principal Component Analysis*). Kedua metode analisis yang digunakan tersebut dijelaskan sebagai berikut:

a. *Reproducibility*

Reproducibility merupakan keseksamaan metode jika dikerjakan pada kondisi yang berbeda. Uji *reproducibility* dilakukan pengulangan pengukuran 2 minggu sekali selama 2 bulan. *Reproducibility* diukur dengan menghitung *Relative Standard Deviation* atau simpangan baku relatif (RSD) dari beberapa pengulangan yang dilakukan. Rumus *Relative Standard Deviation* (RSD) yaitu sebagai berikut:

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

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

Keterangan :

SD = Standar Deviasi

RSD = *Relative Standard Deviation*

\bar{x} = Nilai rata-rata tegangan keseluruhan

x_i = Nilai tegangan ke-i

n = Jumlah data

b. *Principal Component Analysis* (PCA)

Analisis PCA dilakukan dengan menggunakan *software* RStudio. Klasifikasi menggunakan PCA ini bertujuan untuk membedakan hasil pola respon sensor dari beberapa variasi *chamber* yang digunakan. Langkah-langkah analisis PCA yaitu sebagai berikut:

1. *Input data*

Data yang dipersiapkan berupa matriks ukuran $m \times n$, dimana m = jumlah observasi dan n = jumlah variabel atau sampel.

2. *Preprocessing* (Pre-PCA)

a. Standarisasi data, dengan menggunakan *Z – score*. Rumusnya:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (3.3)$$

(z = nilai standar *score*; x = data observasi; μ = *mean* per variabel; σ = standar deviasi per variabel).

b. Kovarian matrik, berfungsi untuk mengukur korelasi antara X dan Y.

Rumusnya:

$$\text{cov}(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{(n-1)} \quad (3.4)$$

(X_i dan Y_i = nilai observasi ke- i dari variabel X dan Y; \bar{X} dan \bar{Y} = rata-rata sampel dari variabel X dan Y).

3. Proses PCA

Menghitung *eigenvalue* dan *eigenvectors*. *Eigenvalue* adalah sebuah bilangan skalar, sedangkan *eigenvectors* merupakan matriks yang keduanya dapat mendefinisikan matriks A ($n \times n$).

$$Ax = \lambda x \quad (3.5)$$

(A = *eigenvectors*; λ = *eigenvalue*).

4. Output

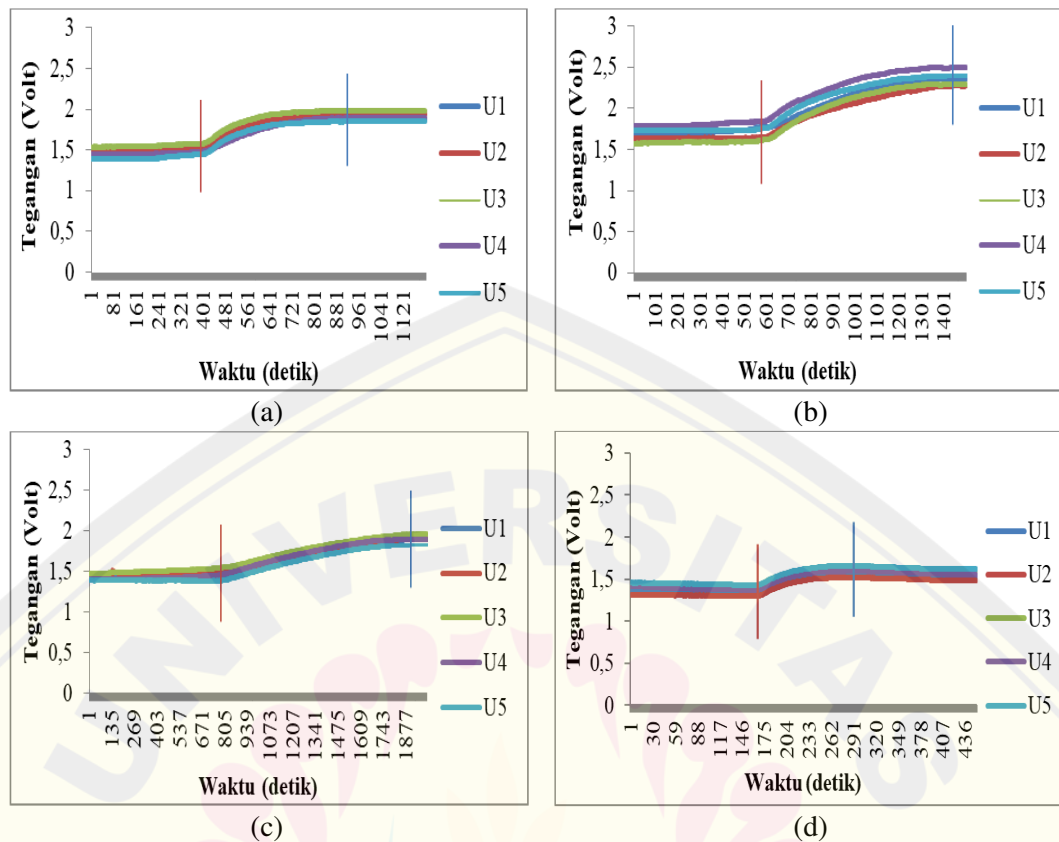
Transformasi data dengan PC1 dan PC2 sebagai sumbu koordinat baru. Transformasinya yaitu data yang telah distandarisasi ($m \times n$) dikalikan dengan *principal component* yang terpilih ($n \times k$) menghasilkan sebuah matriks hasil transformasi berukuran ($m \times k$), dimana k = jumlah *principal component*.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pola Respon Sensor Gas *Array* dalam Mendeteksi Aroma Kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari di berbagai Variasi *Chamber*

Desain *chamber*, volume *chamber*, dan jalur *inlet-outlet*, serta peletakan sensor pada *chamber* merupakan beberapa faktor yang sangat mempengaruhi aliran gas dan konsentrasi gas dalam *chamber*, sehingga hal tersebut memberikan pengaruh terhadap hasil karakteristik pola respon sensor (Lezzi *et al.*, 2001). Penelitian ini menggunakan *cylindrical chamber* dan *ring chamber* sebagai penentuan karakteristik pola respon sensor berdasarkan variasi desain *chamber* dan volume *chamber*. Desain *cylindrical chamber* pada penelitian ini yaitu terdiri dari tiga tipe. Ketiga tipe tersebut memiliki volume *chamber* yang sama, namun berbeda pada posisi *inlet* (jalur masuk gas) dan *outlet* (jalur keluar gas), serta posisi peletakan sensornya. Ketiga tipe *cylindrical chamber* yang digunakan diantaranya *chamber 1* (Gambar 3.2), *chamber 2* (Gambar 3.3), dan *chamber 3* (Gambar 3.4). Desain *ring chamber* yang digunakan merupakan desain *chamber* penelitian sebelumnya atau *chamber 4* (Gambar 3.5). Variasi *chamber* tersebut digunakan untuk melihat pengaruhnya terhadap karakteristik pola respon sensor gas *array* dalam mendeteksi aroma kopi Robusta Sidomulyo dan kopi Robusta Bangsalsari dengan ukuran bubuk kopi dan suhu penyeduhan hasil optimasi pada penelitian Rahma (2019). Sensor disusun secara *array* pada *chamber* yang terdiri dari sensor MQ-136, MQ-135, MQ-2, MQ-3, MQ-6, MQ-7, MQ-8, dan MQ-9.

Hasil *running* uap air yang dilanjutkan dengan uap kopi akan ditampilkan dalam *software LabVIEW* berupa grafik tegangan terhadap waktu. Pengambilan data didasarkan pada jumlah waktu *running* yang ditempuh selama tegangan aroma kopi mencapai kondisi stabil (*steady state*). Kondisi *steady state* atau kondisi tunak merupakan kondisi dimana resistansi sensor berada pada keadaan stabil. Apabila kondisi tunak ini tercapai maka proses adsorpsi sensor dikatakan telah selesai atau titik akhir dari sensor dalam mendeteksi aroma kopi. Hasil *running* selama pengukuran untuk kopi Robusta Sidomulyo yang dideteksi oleh sensor MQ-2 dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Respon Sensor Gas MQ-2 terhadap Kopi Robusta Sidomulyo selama 5 kali Pengulangan di berbagai Variasi Chamber (a) Chamber 1; (b) Chamber 2; (c) Chamber 3; dan (d) Chamber 4

Berdasarkan Gambar 4.1 menunjukkan bahwa adanya perubahan tegangan yang terjadi setelah pengukuran tegangan uap air (*baseline*) ke pengukuran tegangan uap kopi (pada Gambar 4.1 ditandai dengan garis merah-biru). Perubahan yang terjadi yaitu nilai tegangan menjadi lebih tinggi ketika pengukuran uap kopi, hal tersebut dikarenakan uap kopi mengandung lebih banyak senyawa volatil dibandingkan uap air. Kenaikan tegangan yang dihasilkan disebabkan oleh adanya interaksi antara uap kopi dengan permukaan sensor. Keberadaan gas (uap kopi) akan mengikat sejumlah molekul oksigen yang terserap pada permukaan sensor sehingga penghalang potensial akan menurun. Hal tersebut akan mengakibatkan kenaikan konduktivitas dan menurunnya resistansi sensor (Choopun *et al.*, 2012). Hasil *running* untuk jenis sensor lainnya dapat dilihat pada Lampiran 4.1.

Hasil *running* dari ke-empat variasi *chamber* menunjukkan bahwa variasi *chamber* dapat mempengaruhi waktu respon sensor dalam mendeteksi aroma kopi (pada Gambar 4.1 ditandai dengan garis merah) dan waktu gas untuk mencapai kondisi stabil (*steady state*) dalam *chamber* pada saat pengukuran aroma kopi (pada Gambar 4.1 ditandai dengan garis biru). Waktu respon sensor gas dalam mendeteksi aroma kopi di berbagai variasi *chamber* dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Waktu Respon Sensor dalam Mendeteksi Aroma Kopi di berbagai Variasi *Chamber*

<i>Chamber</i>	<i>Range Waktu (s)</i>
1	350-500
2	550-650
3	700-900
4	151-170

Berdasarkan Tabel 4.1 menunjukkan bahwa *chamber* 4 mempunyai waktu respon sensor terhadap aroma kopi paling cepat dibandingkan *chamber* 1, lalu diikuti *chamber* 2, dan terakhir *chamber* 3. Waktu respon sensor dalam mendeteksi aroma kopi ditunjukkan dengan kenaikan tegangan yang drastis pada waktu tersebut. Waktu respon sensor pada *chamber* 4 paling cepat dibandingkan *chamber* 1, 2, dan 3, hal ini dikarenakan adanya perbedaan volume *chamber* antara *chamber* 4 dengan *chamber* 1, 2, dan 3. *Chamber* 4 memiliki volume yang lebih kecil sehingga jalur untuk mengalirnya gas lebih sempit serta ruang gerak gas dalam *chamber* sangat terbatas. Gas yang diinjeksikan ke dalam *chamber* 4 akan mengalir mengikuti aliran *chamber* dan gas akan bersentuhan langsung dengan sensor karena posisinya yang berdekatan dengan jalurnya gas, hal ini membuat gas yang diinjeksikan ke dalam *chamber* 4 lebih cepat terdeteksi oleh sensor. Waktu respon sensor pada *chamber* 1, 2, dan 3 cenderung lebih lama dibandingkan *chamber* 4. Hal ini dikarenakan jalur untuk mengalirnya gas pada *chamber* 1, 2, dan 3 yaitu lebih besar volumenya sehingga gas yang diinjeksikan ke dalam *chamber* akan mengalir secara bebas dan tidak beraturan serta posisi sensor yang letaknya sedikit berjauhan dengan jalur *inlet* mengakibatkan gas yang

diinjeksikan ke dalam *chamber* membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mencapai sensor, sehingga gas tidak terdeteksi dengan cepat oleh sensor.

Chamber 1 mempunyai waktu respon sensor lebih cepat dibandingkan *chamber 2* dan *3*, hal ini dikarenakan adanya perbedaan posisi jalur *inlet-outlet* dan peletakan susunan sensor pada masing-masing *chamber*. *Chamber 1* memiliki jalur *inlet* yang ditempatkan pada posisi yang lebih rendah dibandingkan jalur *outlet*. Menurut Ji *et al.* (2009) jalur *inlet* yang ditempatkan pada posisi yang lebih rendah ini untuk memungkinkan gas yang diinjeksikan ke dalam *chamber* mengalir secara konstan menuju sensor gas dalam waktu yang serendah mungkin. Aliran gas dalam *chamber* akan mengalir ke posisi atas ruangan yang dimana posisi susunan sensor terletak pada bidang atas *chamber* sehingga waktu respon sensor dalam mendeteksi adanya uap kopi akan lebih cepat. Gas yang mengalir ke atas melalui sensor akan memudahkan gas untuk keluar dari *chamber* karena jalur *outlet* ditempatkan pada posisi yang lebih tinggi.

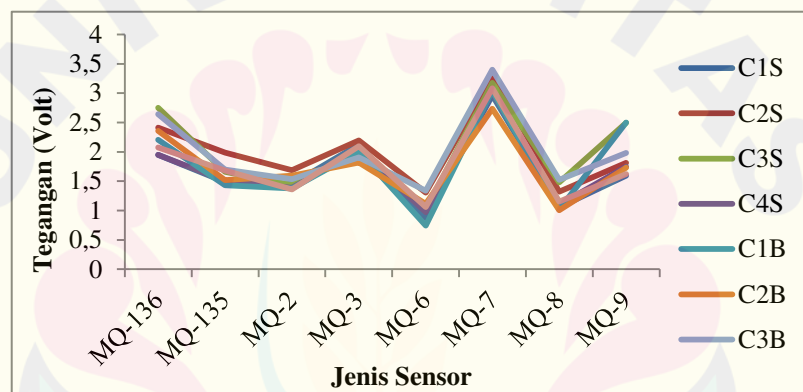
Waktu respon sensor pada *chamber 3* yaitu paling lama dibandingkan *chamber* lainnya, hal ini dikarenakan jalur *inlet* pada *chamber 3* ditempatkan pada posisi yang searah dengan jalur *outlet*. Posisi *inlet* dan *outlet* yang searah ini kemungkinan dapat menyebabkan gas yang diinjeksikan ke dalam *chamber* akan mudah cepat keluar ke jalur *outlet* sebelum gas mencapai kondisi seragam di dalam *chamber* sehingga waktu gas untuk mencapai kondisi tersebut membutuhkan waktu yang lebih lama. Posisi susunan sensor pada *chamber 3* ini juga berada pada bagian alas *chamber* yang memungkinkan gas untuk mencapai sensor membutuhkan waktu yang cukup lama maka waktu respon sensor dalam mendeteksi gas juga akan lebih lama.

Hasil respon sensor gas di berbagai variasi *chamber 1, 2, 3, dan 4* juga menunjukkan bahwa waktu gas untuk mencapai kondisi stabil (*steady state*) dalam *chamber* pada saat pengukuran aroma kopi juga berbeda. Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu gas untuk mencapai kondisi stabil paling cepat yaitu *chamber 4*, kemudian diikuti *chamber 1*, lalu *chamber 2* dan terakhir *chamber 3*. Hal ini dikarenakan, apabila waktu respon sensor dalam mendeteksi aroma kopi

itu lebih cepat, maka gas untuk mencapai kondisi stabil (*steady state*) dalam *chamber* juga akan semakin cepat.

4.1.1 Pola Respon Sensor terhadap Uap Air (*Baseline*)

Pengukuran tegangan sensor terhadap uap air dilakukan dengan tujuan untuk dijadikan sebagai referensi atau *baseline* sensor. Hasil pengukuran tegangan uap air (*baseline*) terhadap kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari dengan menggunakan berbagai variasi *chamber* dapat dilihat pada Lampiran 4.2. Pola respon sensor gas *array* terhadap uap kopi Robusta Sidomulyo dan kopi Robusta Bangsalsari pada masing-masing *chamber* 1, 2, 3, dan 4 dapat dilihat pada Gambar 4.2.



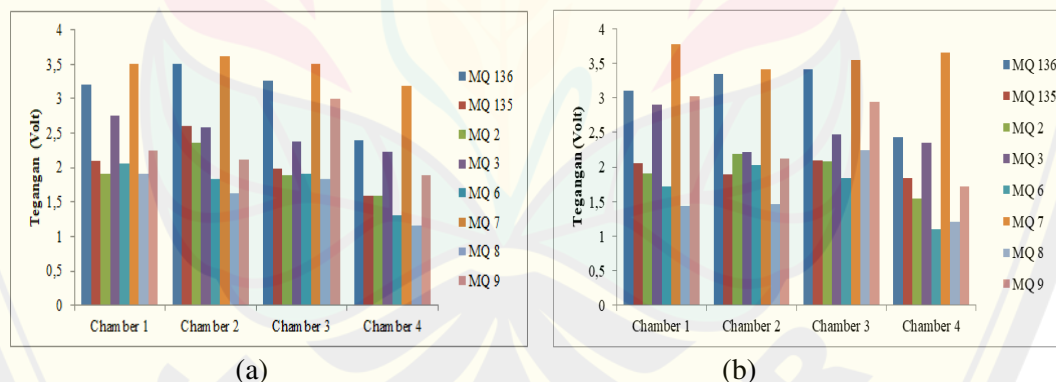
Gambar 4.2 Pola Respon Sensor terhadap Uap Air (*Baseline*) di berbagai Variasi *Chamber* (C1S= *Chamber* 1 Sidomulyo; C2S= *Chamber* 2 Sidomulyo; C3S= *Chamber* 3 Sidomulyo; dan C4S= *Chamber* 4 Sidomulyo; C1B= *Chamber* 1 Bangsalsari; C2B= *Chamber* 2 Bangsalsari; C3B= *Chamber* 3 Bangsalsari; dan C4B= *Chamber* 4 Bangsalsari)

Berdasarkan Gambar 4.2 menunjukkan bahwa pengukuran tegangan terhadap uap air (*baseline*) dari masing-masing variasi *chamber* yang digunakan yaitu memiliki pola yang sama, namun nilai tegangan antar variasi *chamber* yang dihasilkan sedikit berbeda atau memiliki perbedaan yang cukup kecil. Perbedaan tersebut dapat dilihat dari nilai tegangan *baseline* yang diperoleh, dimana nilai tegangan *baseline* pada C1S dan C1B maupun C4S dan C4B cenderung lebih rendah dibandingkan nilai tegangan *baseline* pada C2S dan C2B maupun C3S dan C3B. Hasil tersebut didukung dengan nilai %RSD yang diperoleh. Perhitungan nilai %RSD dari pengukuran terhadap tegangan *baseline* dapat dilihat pada

Lampiran 4.3. Nilai %RSD terhadap tegangan *baseline* pada C1S dan C1B maupun C4S dan C4B mencapai 5%, hal ini menunjukkan bahwa kinerja sensor yang berada dalam *chamber* 1 dan 4 memiliki kinerja yang baik. Nilai %RSD pada C2S dan C2B mencapai 7%, dan pada C3S dan C3B mencapai 8%, hal ini menunjukkan bahwa kinerja sensor yang berada dalam *chamber* 2 dan 3 memiliki kinerja yang cukup baik. Hasil nilai %RSD yang diperoleh hingga mencapai 7-8% ini kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya yaitu desain *chamber* dan perbedaan kelembaban udara disekitar sensor yang dapat mempengaruhi kinerja sensor sehingga sensor tidak bekerja secara optimal.

4.1.2 Pola Aroma Kopi

Pola respon sensor gas *array* terhadap kopi diperoleh dari hasil perhitungan selisih nilai tegangan uap kopi dan nilai tegangan uap air (*baseline*). Nilai tegangan uap kopi perlu diketahui terlebih dahulu sebelum dilakukan perhitungan selisih dengan nilai tegangan *baseline*. Pola tegangan uap kopi yang diperoleh pada masing-masing *chamber* 1, 2, 3, dan 4 sebelum dikurangi dengan nilai tegangan *baseline* dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.

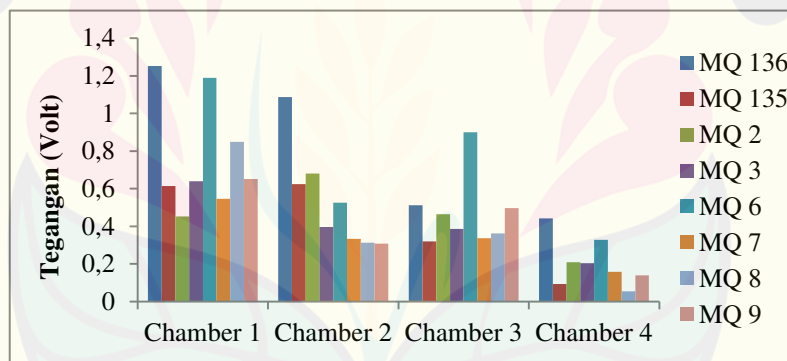


Gambar 4.3 Pola Tegangan Uap Kopi di berbagai Variasi *Chamber* (sebelum dikurangi *Baseline*) (a) Kopi Sidomulyo; (b) Kopi Bangsalsari

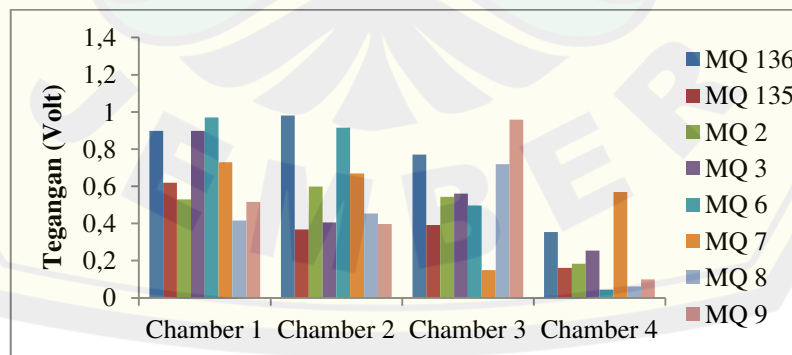
Berdasarkan Gambar 4.3 menunjukkan bahwa pola tegangan uap kopi tanpa dikurangi nilai *baseline* pada masing-masing *chamber* 1, 2, 3, dan 4 menghasilkan pola dan intensitas tegangan yang hampir mirip, hal ini disebabkan karena mengabaikan nilai tegangan *baseline*. Gambar 4.3 (a) menunjukkan nilai tegangan tertinggi yang dihasilkan dari pengukuran kopi Sidomulyo pada

chamber 1, 2, 3, dan 4 yaitu sensor MQ-7, dan sebaliknya nilai tegangan terendah yaitu sensor MQ-8. Gambar 4.3 (b) menunjukkan nilai tegangan tertinggi yang dihasilkan dari pengukuran kopi Bangsalsari pada *chamber* 1, 2, 3, dan 4 yaitu sensor MQ-7, dan sebaliknya nilai tegangan terendah pada *chamber* 1 dan 2 yaitu sensor MQ-8, sedangkan *chamber* 3 dan 4 yaitu sensor MQ-6. Berdasarkan hasil tersebut nilai tegangan *baseline* ini tidak boleh diabaikan, hal ini dikarenakan nilai tegangan *baseline* digunakan untuk mengetahui seberapa besar perubahan tegangan yang terjadi setelah adanya uap kopi.

Perhitungan selisih nilai tegangan uap kopi terhadap nilai tegangan *baseline* digunakan untuk membedakan karakteristik pola respon sensor terhadap aroma kopi dari setiap sampel yang akan dianalisa. Penentuan pola respon sensor gas *array* beserta perhitungan selisih antara tegangan uap kopi dan *baseline* dapat dilihat pada Lampiran 4.4. Pola yang dihasilkan pada masing-masing sampel dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut.



(a)



(b)

Gambar 4.4 Karakteristik Pola Respon Sensor Gas *Array* di berbagai Variasi *Chamber*
(a) Kopi Sidomulyo; (b) Kopi Bangsalsari

Berdasarkan Gambar 4.4 menunjukkan bahwa variasi *chamber* dapat mempengaruhi hasil pola respon sensor gas *array* terhadap aroma kopi Robusta Sidomulyo dan kopi Robusta Bangsalsari. Hal ini ditunjukkan dengan nilai tegangan yang dihasilkan dari masing-masing sensor. Gambar 4.4 (a) nilai tegangan tertinggi yang dihasilkan dari pengukuran kopi Sidomulyo pada *chamber* 1 yaitu sensor MQ-136 (1,25V), *chamber* 2 sensor MQ-136 (1,09V), *chamber* 3 sensor MQ-6 (0,90V), dan *chamber* 4 sensor MQ-136 (0,44V), sedangkan nilai tegangan terendah pada *chamber* 1 yaitu MQ-2 (0,45V), *chamber* 2 sensor MQ-9 (0,31V), *chamber* 3 sensor MQ-135 (0,32V), dan *chamber* 4 sensor MQ-8 (0,05V). Hasil yang diperoleh tersebut memiliki perbedaan hasil di setiap masing-masing *chamber* 1, 2, 3, dan 4, hal ini disebabkan oleh faktor *inlet-outlet* terhadap letak sensor pada masing-masing *chamber* serta adanya perbedaan desain pada *chamber* 4. Sensor MQ-136 pada *chamber* 1 dan 4 menghasilkan nilai tegangan tertinggi dikarenakan letak sensor MQ-136 berdekatan dengan jalur *inlet* sehingga kinerja sensor MQ-136 dapat optimal. Kemungkinan lainnya juga disebabkan oleh uap kopi Sidomulyo mengeluarkan akumulatif gas H₂S yang sangat kuat aromanya sehingga sangat sensitif terhadap sensor MQ-136 (Winsen, 2020). Sensor MQ-2 menghasilkan nilai tegangan terendah pada *chamber* 1 dikarenakan letak sensor MQ-2 berdekatan dengan jalur *outlet* yang memungkinkan uap kopi mudah ketarik keluar *chamber*. Sensor MQ-8 menghasilkan nilai tegangan terendah pada *chamber* 4 kemungkinan dikarenakan gas yang terdistribusi di dalam *chamber* 4 berbeda dengan *chamber* lainnya yang disebabkan adanya perbedaan desain *chamber* sehingga dapat mempengaruhi hasil tegangan yang diperoleh. Hasil nilai tegangan tertinggi dan terendah pada *chamber* 1 berbeda dengan hasil yang diperoleh pada *chamber* 2 dan 3, hal ini menandakan bahwa uap kopi yang diinjeksikan pada *chamber* 2 dan 3 tidak merata keseluruh ruang dikarenakan posisi jalur *inlet* dan *outlet*-nya yang searah (berada pada posisi tengah), serta letak seluruh sensornya memiliki jarak yang sama dengan posisi *inlet* maupun *outlet* sehingga pergerakan aliran gasnya tidak menentu.

Gambar 4.4 (b) nilai tegangan tertinggi yang dihasilkan dari pengukuran kopi Bangsalsari pada *chamber* 1 yaitu sensor MQ-6 (0,97V), *chamber* 2 sensor MQ-136 (0,98V), *chamber* 3 sensor MQ-9 (0,96V), dan *chamber* 4 sensor MQ-7 (0,57V), sedangkan nilai tegangan terendah pada *chamber* 1 yaitu MQ-8 (0,42V), *chamber* 2 sensor MQ-135 (0,37), *chamber* 3 sensor MQ-7 (0,15V), dan *chamber* 4 sensor MQ-6 (0,04V). Hasil yang diperoleh tersebut juga memiliki perbedaan hasil di setiap masing-masing *chamber* 1, 2, 3, dan 4, hal ini juga disebabkan oleh faktor *inlet-outlet* terhadap letak sensor pada masing-masing *chamber*, serta adanya perbedaan desain pada *chamber* 4. Sensor MQ-6 pada *chamber* 1 menghasilkan nilai tegangan tertinggi, hal ini kemungkinan aliran gas dominan mengalir ke arah kiri dari posisi *inlet* dikarenakan letak sensor MQ-6 berada pada bagian samping kiri *chamber* dari arah *inlet* sehingga kinerja sensor MQ-6 dapat optimal. Kemungkinan lainnya juga disebabkan oleh uap kopi Bangsalsari mengeluarkan akumulatif gas propana yang sangat kuat aromanya sehingga sangat sensitif terhadap sensor MQ-6 (Winsen, 2020). Sensor MQ-8 menghasilkan nilai tegangan terendah pada *chamber* 1 dikarenakan letak sensor MQ-8 cukup berdekatan dengan jalur *outlet* yang memungkinkan aroma kopi mudah ketarik keluar *chamber*. Hasil nilai tegangan tertinggi dan terendah pada *chamber* 1 berbeda dengan hasil yang diperoleh pada *chamber* 2 dan 3, hal ini kemungkinan uap kopi yang diinjeksikan pada *chamber* 2 dan 3 tidak merata keseluruhan ruang, atau juga disebabkan oleh faktor kelembaban sehingga kinerja sensor kurang optimal. Hasil pada *chamber* 4 juga berbeda dengan hasil *chamber* 1, 2, dan 3, hal ini dikarenakan adanya perbedaan desain pada *chamber* 4 sehingga gas yang terdistribusi di dalam *chamber* berbeda sehingga dapat mempengaruhi hasil tegangan yang diperoleh.

Berdasarkan Gambar 4.4 menunjukkan bahwa *chamber* 4 menghasilkan intensitas tegangan paling rendah dibandingkan *chamber* 1, 2, dan 3. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan volume *chamber*, dimana *chamber* 4 memiliki volume ruang lebih kecil dibandingkan *chamber* 1, 2, dan 3. Uap kopi yang diinjeksikan ke dalam *chamber* 4 akan mengalir mengikuti aliran *chamber* dan secara tidak langsung gas dipaksa keluar karena volume *chamber* yang kecil,

sehingga gas yang mengalir pada *chamber* 4 pergerakannya sangat terbatas atau tidak sebebaskan pada *chamber* 1, 2, dan 3. Kondisi tersebut menyebabkan senyawa volatil dalam *chamber* 4 terakumulasi lebih sedikit sehingga senyawa yang terdeteksi oleh sensor dalam jumlah yang tidak banyak. Hal inilah yang menyebabkan intensitas tegangan yang dihasilkan pada *chamber* 4 lebih rendah dibandingkan *chamber* 1, 2, dan 3.

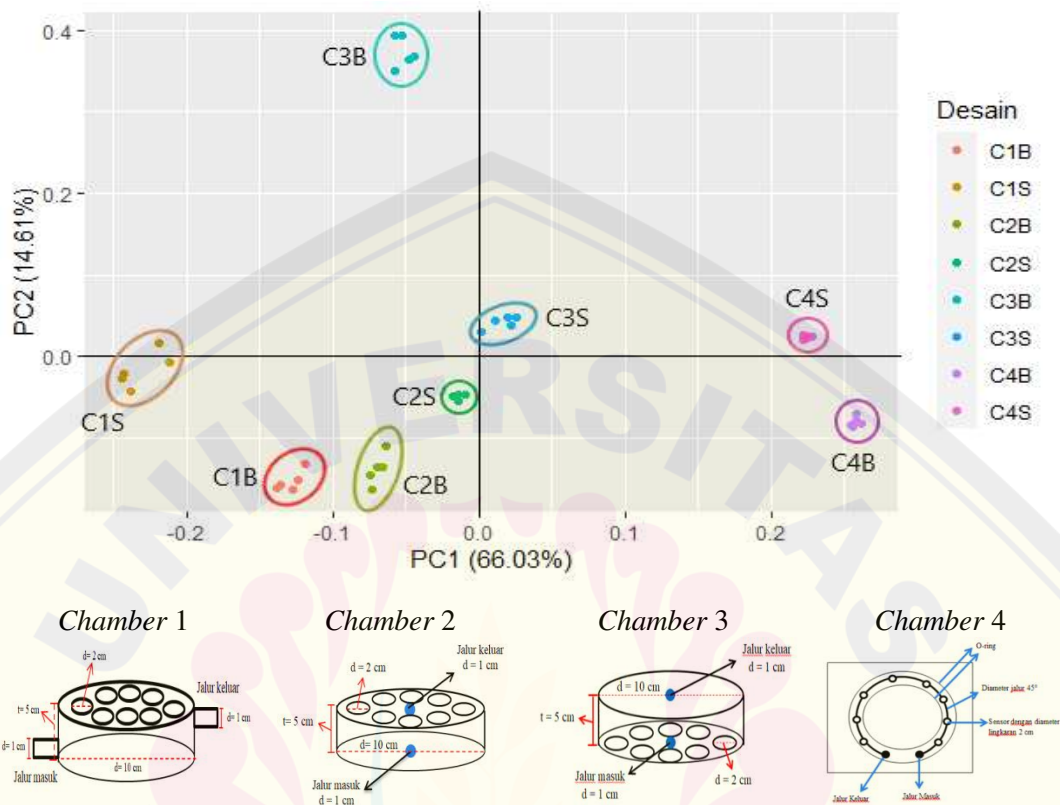
Intensitas tegangan yang dihasilkan pada *chamber* 1, 2, dan 3 jauh lebih tinggi dibandingkan *chamber* 4, hal ini disebabkan *chamber* 1, 2, dan 3 memiliki volume ruang lebih besar dibandingkan *chamber* 4. Volume *chamber* 1, 2, dan 3 yang lebih besar ini menyebabkan uap kopi yang diinjeksikan ke dalam *chamber* membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mencapai kondisi stabil (*steady state*) dan seragam di dalam *chamber*. Gas dalam *chamber* akan bergerak bebas dan akan sedikit terperangkap di dalam *chamber* sebelum gas ditarik keluar oleh pompa melalui jalur *outlet* karena volume *chamber* yang cukup besar. Proses *running* kopi yang cukup lama ini menyebabkan semakin banyak pula jumlah uap kopi yang berada di dalam *chamber* sehingga senyawa volatil yang terakumulasi dalam *chamber* juga semakin banyak, maka konsentrasi senyawa volatil yang dihasilkan dari uap kopi juga semakin besar sehingga intensitas tegangan yang dihasilkan juga akan semakin tinggi.

Chamber 1 menghasilkan nilai tegangan sensor cenderung lebih tinggi dibandingkan hasil tegangan sensor pada *chamber* 2 dan *chamber* 3. Hal tersebut dikarenakan pada *chamber* 1 memiliki posisi *inlet* (jalur masuk gas) lebih rendah dibandingkan posisi *outlet* (jalur keluar gas) yang lebih tinggi. Posisi *inlet* dan *outlet* yang tidak searah pada *chamber* 1 ini menyebabkan gas yang diinjeksikan mencapai kondisi stabil dan seragam di dalam *chamber* dalam waktu yang serendah mungkin sehingga memaksimalkan kontak antara gas dengan permukaan sensor. Posisi *inlet* yang lebih rendah ini juga menyebabkan daerah di sekitar sensor memiliki kelembaban yang cukup rendah, dimana peletakan susunan sensornya berada pada posisi bidang atas *chamber* sehingga kinerja sensor dapat maksimal.

Chamber 2 dan *chamber 3* menghasilkan nilai tegangan yang cenderung lebih rendah dibandingkan hasil nilai tegangan *chamber 1*. Hal ini kemungkinan dikarenakan *chamber 2* dan *3* memiliki posisi *inlet* dan *outlet* yang searah, sehingga dapat menyebabkan gas yang diinjeksikan akan mudah cepat keluar ke posisi *outlet* sebelum gas mencapai kondisi seragam di dalam *chamber*. Kondisi tersebut mengakibatkan gas yang terdeteksi oleh sensor dalam jumlah yang sedikit atau gas tidak terdeteksi secara optimal oleh sensor. Kemungkinan lainnya juga disebabkan oleh posisi peletakan sensor pada *chamber 2* dan *3*. Peletakan susunan sensor pada *chamber 2* yaitu sejajar dengan posisi *inlet* atau sebidang dengan posisi *outlet* sehingga menyebabkan daerah di sekitar sensor secara cepat mengalami kelembaban akibat terlalu seringnya berkontak langsung dengan uap dibandingkan *chamber 1*. Peletakan susunan sensor pada *chamber 3* yaitu sebidang dengan posisi *inlet* (sensor berdekatan dengan posisi *inlet*) sehingga daerah disekitar sensor mengalami kelembaban. Kelembaban inilah yang menyebabkan kinerja sensor tidak bekerja secara optimal.

Hasil pola respon sensor gas *array* yang dihasilkan oleh ke-empat variasi *chamber* yang digunakan yaitu *chamber 1*, *2*, *3*, dan *4* dapat dibedakan menggunakan metode PCA (*Principal Component Analysis*). PCA merupakan suatu metode yang bertujuan untuk mereduksi variabel yang ada menjadi variabel baru yang jumlahnya lebih sedikit tanpa harus kehilangan informasi termuat dalam data asli atau awal (Martono *et al.*, 2012). Hasil analisis PCA dapat dibedakan berdasarkan jarak *euclidean*. Jarak *euclidean* merupakan jarak yang digunakan untuk mengukur jarak dari dua buah titik dalam *euclidean space* yang meliputi bidang *euclidean* 2 dimensi, tiga dimensi, atau bahkan lebih dengan tujuan untuk mengukur tingkat kemiripan data (Nishom, 2019). Nilai jarak *euclidean* yang semakin kecil mengindikasikan bahwa karakteristik pola respon gas *array* dalam mendeteksi aroma kopi Robusta Sidomulyo dan kopi Robusta Bangsalsari yang dihasilkan yaitu hampir sama dan sebaliknya. Analisis PCA pada penelitian ini yaitu menggunakan *software* RStudio. Data set yang di *input* dalam *software* RStudio yaitu berupa data selisih tegangan uap kopi terhadap uap air (*baseline*) dari setiap pengulangan dan setiap variasi *chamber*.

Hasil analisis PCA menggunakan *software* RStudio dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Hasil Scores Plot PCA 2 Dimensi Kopi Sidomulyo dan Bangsalsari pada Variasi Chamber (C1B= Chamber 1 Bangsalsari; C2B= Chamber 2 Bangsalsari; C3B= Chamber 3 Bangsalsari; C4B= Chamber 4 Bangsalsari; C1S= Chamber 1 Sidomulyo; C2S= Chamber 2 Sidomulyo; C3S= Chamber 3 Sidomulyo; dan C4S= Chamber 4 Sidomulyo)

Berdasarkan Gambar 4.5 menunjukkan bahwa analisis PCA menghasilkan dua komponen utama yaitu PC1 dan PC2. Nilai PC yang dihasilkan yaitu nilai PC1 sebesar 66,03% dan PC2 sebesar 14,61%. Total akumulasi dari nilai kedua PC yaitu sebesar 80,64% dari total varians data atau dapat dikatakan bahwa proporsi kumulatif varians komponen utama pertama dan kedua mampu menjelaskan keragaman data hasil pola respon sensor kopi Sidomulyo dan Bangsalsari pada masing-masing variasi *chamber* 1, 2, 3, dan 4 sebesar 80,64%. Menurut Artigue & Smith (2019) mengatakan bahwa nilai proporsi kumulatif varians komponen utama harus mencapai minimal 80% agar hasil keragaman data dapat dikatakan sangat baik.

Hasil analisis PCA menunjukkan bahwa jarak antara *chamber* 3 Sidomulyo (C3S) dengan *chamber* 3 Bangsalsari (C3B) yaitu saling berjauhan dengan nilai jarak *euclidean* sebesar 0,34. Jarak antara *chamber* 1 Sidomulyo (C1S) dengan *chamber* 1 Bangsalsari (C1B) yaitu juga saling berjauhan dengan nilai jarak *euclidean* sebesar 0,17. Jarak antara *chamber* 4 Sidomulyo (C4S) dengan *chamber* 4 Bangsalsari (C4B) yaitu sedikit saling berjauhan dengan nilai jarak *euclidean* sebesar 0,11. Jarak antara *chamber* 2 Sidomulyo (C2S) dengan *chamber* 2 Bangsalsari (C2B) yaitu saling berdekatan dengan nilai jarak *euclidean* sebesar 0,10. Hasil tersebut dapat dikatakan bahwa *chamber* 1, 3, dan 4 mampu membedakan karakteristik pola respon sensor yang dihasilkan dari pengukuran aroma kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari, dibandingkan *chamber* 2. *Chamber* 2 mempunyai nilai jarak *euclidean* yang paling kecil sehingga mengindikasikan bahwa karakteristik pola respon sensor dalam mendeteksi aroma kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari yang dihasilkan yaitu hampir sama atau hampir mirip. Sedangkan *chamber* 1, 3, dan 4 mempunyai nilai jarak *euclidean* yang lebih jauh sehingga mengindikasikan bahwa karakteristik pola respon sensor yang dihasilkan dari pengukuran aroma kopi Robusta Sidomulyo dan kopi Robusta Bangsalsari yaitu berbeda. Perhitungan nilai jarak *euclidean* dapat dilihat pada Lampiran 4.8.

Berdasarkan hasil penelitian di berbagai variasi *chamber* yang digunakan pada penelitian ini, *chamber* optimum dapat ditentukan dengan melihat beberapa parameter diantaranya yaitu waktu respon sensor dalam mendeteksi aroma kopi, intensitas tegangan, dan hasil PCA yang dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Parameter Penentu *Chamber* Optimum

<i>Chamber</i>	Parameter		
	Waktu Respon Sensor	Intensitas Tegangan	Hasil PCA
<i>Chamber</i> 1	***	****	***
<i>Chamber</i> 2	**	***	*
<i>Chamber</i> 3	*	**	****
<i>Chamber</i> 4	****	*	**

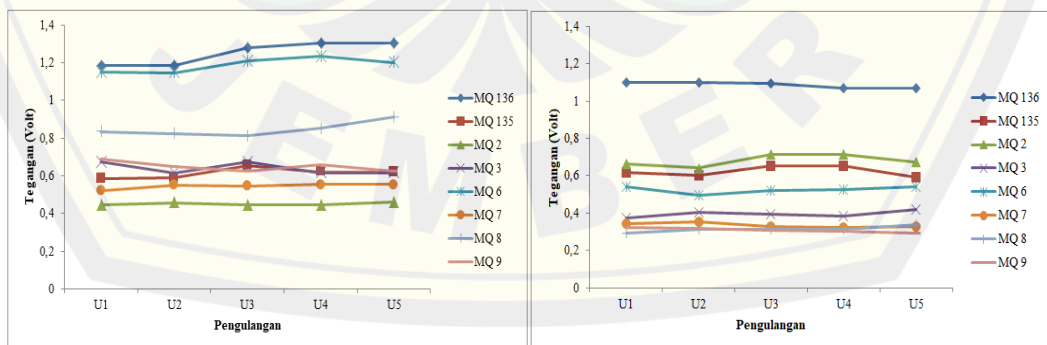
(Keterangan: * = Kurang; ** = Cukup; *** = Baik; **** = Sangat Baik)

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa *chamber* 1 merupakan *chamber* yang paling optimum dibandingkan *chamber* 2, 3, dan 4. Hal tersebut dikarenakan *chamber* 1 lebih dominan menunjukkan kelebihan dari beberapa parameter dibandingkan *chamber* lainnya. *Chamber* 1 mempunyai waktu respon sensor yang cepat dalam mendeteksi aroma kopi, intensitas tegangan yang dihasilkan juga paling tinggi dibandingkan *chamber* lainnya, serta *chamber* 1 mampu membedakan karakteristik pola respon sensor yang dihasilkan dari pengukuran aroma kopi Sidomulyo dan Bangsalsari yang dilihat dari nilai jarak *euclidean* yang jauh berdasarkan hasil PCA.

4.2 Kinerja Sensor Gas Array dalam Mendeteksi Aroma Kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari

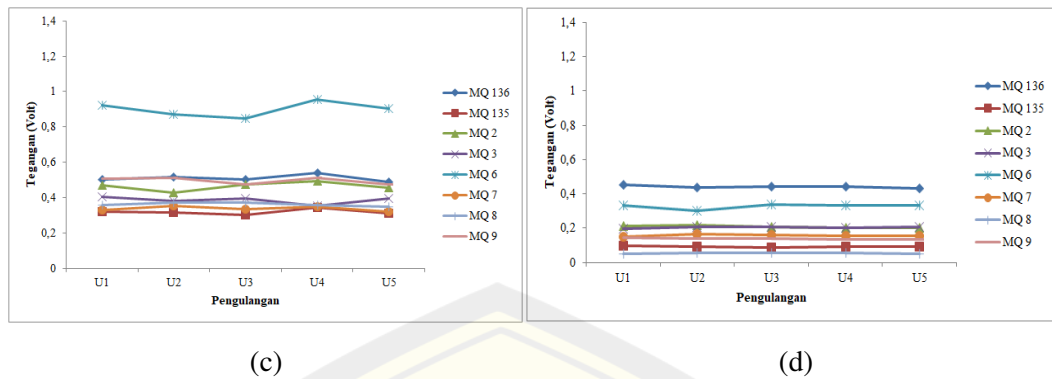
4.2.1 Repeatability

Repeatability (keterulangan) merupakan keseksamaan metode yang dilakukan berulang kali pada kondisi yang sama dan dalam interval waktu yang pendek. Uji *repeatability* sensor gas array pada penelitian ini dilakukan sebanyak lima kali pengulangan pada setiap variasi sampel dan desain *chamber*. Nilai *repeatability* sensor gas array dilihat berdasarkan nilai RSD (*Relative Standard Deviation*). Suatu pengukuran dikatakan baik jika mempunyai nilai RSD kurang dari 5%. Grafik pola respon sensor gas array terhadap kopi Robusta Sidomulyo selama lima kali pengulangan pada minggu pertama diberbagai variasi *chamber* dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut.



(a)

(b)



Gambar 4.6 Grafik Pola Respon Aroma Kopi Robusta Sidomulyo selama Lima Kali Pengulangan pada Minggu Pertama terhadap Variasi Chamber (a) Chamber 1; (b) Chamber 2; (c) Chamber 3; dan (d) Chamber 4

Berdasarkan Gambar 4.6 menunjukkan bahwa lima kali pengulangan dari masing-masing sensor pada setiap variasi desain chamber memiliki kepresisian yang baik, ditunjukkan dengan pola respon sensor yang hampir sama di setiap pengulangan. Hal ini juga dilihat dengan nilai %RSD repeatability yang diperoleh. Pengolahan data untuk penentuan nilai %RSD repeatability untuk masing-masing sensor disetiap variasi sampel dan desain chamber dapat dilihat pada Lampiran 4.5. Nilai %RSD yang didapatkan untuk minggu pertama dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.3 Nilai %RSD Repeatability Sensor Gas Array pada Minggu Pertama

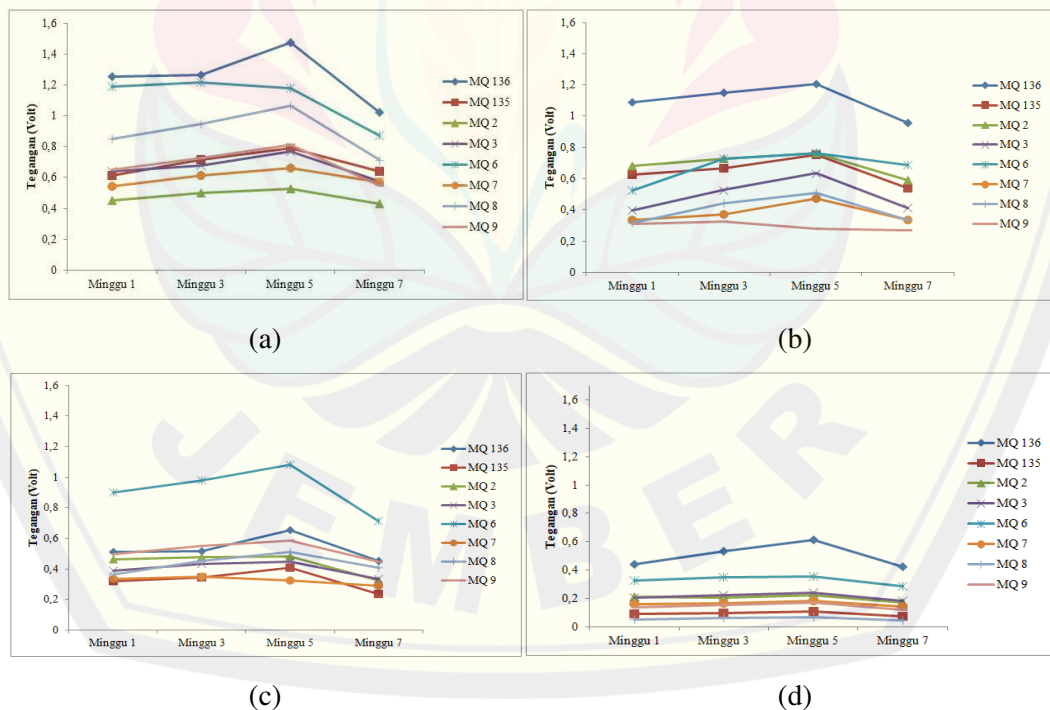
Sampel	Chamber	% RSD							
		MQ-136	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7	MQ-8	MQ-9
Sidomulyo	1	4,77	4,48	1,48	4,94	3,29	2,54	4,60	4,14
	2	1,44	4,73	4,63	4,53	3,47	3,86	4,94	4,13
	3	3,88	4,70	5,13	5,31	4,72	4,16	2,90	3,96
	4	1,75	3,54	2,71	2,56	4,21	4,44	3,72	2,50
Bangsalsari	1	4,70	1,11	4,95	2,11	0,96	3,08	4,18	4,92
	2	3,11	3,27	5,41	4,62	2,16	4,91	5,09	1,99
	3	5,00	3,74	1,88	3,05	2,89	3,70	4,21	3,27
	4	4,48	2,28	3,73	3,19	4,60	1,87	4,30	4,92

Berdasarkan Tabel 4.2 menunjukkan bahwa nilai %RSD repeatability untuk chamber 1 dan chamber 4 (ring chamber penelitian sebelumnya) pada masing-masing sampel menghasilkan nilai %RSD kurang dari 5% pada setiap jenis sensor. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor gas array yang dirangkai

pada *chamber 1* dan *chamber 4* memiliki nilai *repeatability* yang sangat baik, sedangkan pada *chamber 2* dan *chamber 3* menghasilkan nilai %RSD mencapai lebih dari 5% (<6%), yaitu pada sensor MQ-2 dan MQ-3 (*chamber 3* pengukuran kopi Sidomulyo), dan sensor MQ-136 (*chamber 3* pengukuran kopi Bangsalsari) serta MQ-2 dan MQ-8 (*chamber 2* pengukuran kopi Bangsalsari). Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor gas *array* yang dirangkai pada *chamber 2* dan *chamber 3* memiliki nilai *repeatability* yang cukup baik. Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh faktor kelembaban sensor ataupun desain *chamber* yang kurang baik sehingga mempengaruhi proses pengukuran.

4.2.2 Reproducibility

Reproducibility merupakan keseksamaan metode jika dikerjakan pada kondisi yang berbeda. Uji *Reproducibility* sensor gas *array* pada penelitian ini dilakukan pengukuran setiap 2 minggu sekali selama 2 bulan. Grafik kinerja sensor gas *array* berdasarkan uji *reproducibility* untuk sampel kopi Robusta Sidomulyo diberbagai variasi *chamber* dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4.7 Grafik Pengukuran Aroma Kopi Sidomulyo pada Minggu Pertama, Ketiga, Kelima, dan Ketujuh terhadap Variasi *Chamber* (a) *Chamber 1*; (b) *Chamber 2*; (c) *Chamber 3*; dan (d) *Chamber 4*

Berdasarkan Gambar 4.7 keseluruhan menunjukkan bahwa kinerja sensor diberbagai variasi *chamber* pada minggu ketiga dan kelima cenderung mengalami peningkatan respon, kemudian pada minggu ketujuh mengalami penurunan respon sensor. Minggu ketujuh respon sensor cenderung lebih rendah dibandingkan minggu pertama. Hasil yang diperoleh tersebut sedikit mengalami perbedaan tegangan tiap minggunya, kemungkinan dikarenakan adanya perbedaan waktu pengukuran, desain *chamber*, dan faktor kelembaban pada masing-masing sensor sehingga dapat mempengaruhi proses pengukuran.

Analisa uji *reproducibility* ini dilihat dengan menghitung nilai %RSD untuk setiap pengulangan minggu pertama, ketiga, kelima, dan ketujuh. Pengolahan data untuk penentuan nilai %RSD untuk masing-masing sensor disetiap variasi sampel dan *chamber* dapat dilihat pada Lampiran 4.6. Nilai %RSD yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4.4 *Reproducibility* Sensor Array berdasarkan Nilai %RSD untuk Kopi Robusta Sidomulyo

<i>Chamber</i>	%RSD							
	MQ-136	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7	MQ-8	MQ-9
1	14,66	11,61	9,07	12,16	14,59	8,65	16,76	16,39
2	9,76	13,77	10,81	22,45	15,66	17,52	22,72	8,77
3	16,12	21,88	17,09	12,54	17,15	7,61	14,54	11,44
4	17,58	16,01	10,74	12,23	9,34	11,05	16,26	15,05

Tabel 4.5 *Reproducibility* Sensor Array berdasarkan Nilai %RSD untuk Kopi Robusta Bangsalsari

<i>Chamber</i>	%RSD							
	MQ-136	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7	MQ-8	MQ-9
1	7,45	12,13	16,43	11,76	7,30	15,36	19,79	16,97
2	17,40	15,97	13,82	15,02	15,54	11,88	14,04	23,98
3	13,36	20,11	18,00	6,43	14,83	23,10	8,93	6,36
4	13,78	16,14	16,73	12,14	15,83	13,21	9,25	15,29

Berdasarkan Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 menunjukkan bahwa nilai %RSD masing-masing jenis sensor pada *chamber* 1 untuk pengukuran kopi Sidomulyo sebesar 8-17%, sedangkan kopi Bangsalsari 7-20%. Nilai %RSD masing-masing jenis sensor pada *chamber* 4 (*ring chamber* penelitian sebelumnya) untuk kopi

Sidomulyo 9-18%, sedangkan kopi Bangsalsari 9-17%. Hasil tersebut dapat dikatakan bahwa *chamber* 1 dan 4 menghasilkan nilai %RSD kurang dari 20%. Menurut Mamat *et al.*, (2011) dan Guz *et al.*, (2015) mengatakan bahwa nilai %RSD kurang dari 20% dianggap sensor mempunyai kinerja yang baik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kinerja sensor yang dirangkai pada *chamber* 1 dan 4 memiliki kinerja yang baik.

Nilai %RSD masing-masing jenis sensor pada *chamber* 2 untuk pengukuran kopi Sidomulyo sebesar 8-23%, sedangkan kopi Bangsalsari 11-24%. Nilai %RSD masing-masing jenis sensor pada *chamber* 3 untuk kopi Sidomulyo 7-22%, sedangkan kopi Bangsalsari 6-24%. Hasil tersebut dapat dikatakan bahwa *chamber* 2 dan 3 menghasilkan nilai %RSD mencapai lebih dari 20% (>24%) sehingga menunjukkan bahwa kinerja sensor yang dirangkai pada *chamber* 2 dan 3 memiliki kinerja yang kurang baik, diantaranya sensor MQ-3 dan MQ-8 (*chamber* 2 pengukuran kopi Sidomulyo), sensor MQ-135 (*chamber* 3 pengukuran kopi Sidomulyo), sensor MQ-9 (*chamber* 2 pengukuran kopi Bangsalsari), serta MQ-135 dan MQ-7 (*chamber* 3 pengukuran kopi Bangsalsari). Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh faktor kelembaban sensor, faktor penyimpanan sensor ataupun desain *chamber* yang kurang baik sehingga mempengaruhi proses pengukuran.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian pengaruh variasi *cylindrical chamber design* dalam mendeteksi aroma kopi robusta Sidomulyo dan Bangsalsari terhadap pola respon sensor gas *array* sebagai berikut:

1. Variasi *chamber* memberikan pengaruh terhadap hasil pola respon sensor kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari. *Chamber* optimum yang diperoleh yaitu *chamber* 1 dikarenakan lebih dominan menunjukkan kelebihan dari beberapa parameter pendukungnya dibandingkan *chamber* 2, 3, dan 4. *Chamber* 1 mempunyai waktu respon sensor yang cepat dalam mendeteksi aroma kopi, intensitas tegangan yang dihasilkan juga paling tinggi dibandingkan *chamber* lainnya, serta *chamber* 1 mampu membedakan karakteristik pola respon sensor yang dihasilkan dari pengukuran aroma kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari yang dilihat dari nilai jarak *euclidean* yang jauh berdasarkan hasil analisis PCA.
2. Kinerja sensor gas *array* berdasarkan uji *reproducibility* dalam mendeteksi aroma kopi robusta Sidomulyo dan Bangsalsari pada *chamber* 1 dan *chamber* 4 memiliki kinerja yang baik dengan nilai %RSD kurang dari 20%, sedangkan *chamber* 2 dan *chamber* 3 memiliki kinerja yang kurang baik dengan nilai %RSD mencapai lebih dari 20% (<24%).

5.2 Saran

Saran yang perlu dilakukan untuk penelitian selanjutnya yaitu susunan sensor pada *chamber* perlu dirotasikan agar distribusi gas dalam *chamber* terdeteksi secara optimum oleh sensor. *Chamber* perlu dikondisikan dalam keadaan vakum atau tidak ada gas di dalamnya karena volume *chamber* yang cukup besar memungkinkan gas dari luar terjebak di dalamnya sehingga dapat mempengaruhi hasil yang diperoleh. Penyimpanan, pemeliharaan, dan penggunaan sensor juga sangat perlu diperhatikan karena sangat berpengaruh terhadap hasil yang diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, Agustiawan, and Marzuarman. 2018. Seminar Nasional Industri dan Teknologi (SNIT). *Karakterisasi Sensor Gas untuk Meningkatkan Tingkat Kesegaran Daging Ikan Tongkol*.
- Aguilera, T., J. Lozano, J. A. Paredes, F. J. Alvarez, dan J. I. Suarez. 2012. Electronic Nose Based on Independent Component Analysis Combined with Partial Least Squares and Artificial Neural Networks for Wine Prediction. *Sensors (Switzerland)* 12(6): 8055–72.
- Artigue, H., & Smith, G. 2019. The principal problem with principal components regression. *Cogent Mathematics & Statistics*, 6(1), 1622190. <https://doi.org/10.1080/25742558.2019.1622190>.
- Asrorudin, Udin. 2009. Pengembangan Sensor Gas Berbasis Timah Oksida (SnO₂). *Warta Akab* 8(21): 40–47.
- Aziz, T., R. Cindo, and A. Fresca. 2009. Pengaruh Pelarut Heksana Dan Etanol, Volume Pelarut, Dan Waktu Ekstraksi Terhadap Hasil Ekstraksi Minyak Kopi. *Jurnal Teknik Kimia* 16: 3.
- Bakar, M. A. A. *et al.* 2016. Electronic Nose Sensing Chamber Design for Confined Space Atmospheric Monitoring. *AIP Conference Proceedings* 1775.
- Bedoui, S., R. Faleh, H. Samet, and A. Kachouri. 2013. Electronic Nose System and Principal Component Analysis Technique for Gases Identification. *2013 10th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, SSD*.
- BPS Jawa Timur 2019. *Luas Areal Perkebunan Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Tanaman Provinsi Jawa Timur 2018*. [Serial Online]. <https://jatim.bps.go.id/>. [Diakses 22 Oktober 2020].
- BPS Kabupaten Jember. 2020. *Kecamatan Silo dalam Angka 2020*. [Serial Online]. <https://jemberkab.bps.go.id/publication/>. [Diakses 22 Oktober 2020].
- Chandra, D., R. H. Ismono, and E. Kasymir. 2013. Prospek Perdagangan Kopi Robusta Indonesia Di Pasar Internasional. *JIIA Jurnal Ilmu Ilmu Agribisnis* 1(1): 10–15.
- China-Total MQ Series. 2020. MQ-3 Gas Sensor. [Serial Online]. <http://www.china-total.com/Product/meter/gas-sensor/MQ-3.pdf>. [Diakses 24 Oktober 2020].

- China-Total MQ Series. 2020. MQ-6 Gas Sensor. [Serial Online]. <http://www.china-total.com/Product/meter/gas-sensor/MQ-6.pdf>. [Diakses 24 Oktober 2020].
- Choopun, S., N. Hongsith, and E. Wongrat. 2012. Metal-Oxide Nanowires for Gas Sensors. *Nanowires - Recent Advances (Cvd)*: 3–24.
- Di Francesco, F., M. Falcitelli, L. Marano, and G. Pioggia. 2005. A Radially Symmetric Measurement Chamber for Electronic Noses. *Sensors and Actuators, B*: 105(2): 295–303.
- Djuandi, Feri. 2011. Pengenalan Arduino. *E-book. www.tobuku*: 1–24.
- Engineer Ambitiously-NI. 2020. LabVIEW Environments Basics-National Instruments. [Serial Online]. <https://www.ni.com/getting-started/labview-basics/environment>. [Diakses 27 September 2020].
- Fadah, Isti, Handriyono, and Alfi Arif. 2013. *Model Peningkatan Kinerja Usaha Kopi Olahan Berbasis Kelompok Dan Kemitraan Di Kabupaten Jember*. Jember: Fakultas Ekonomi Universitas Jember.
- Fajerin, M. I. 2020. Karakterisasi Profil Respon Sensor Gas Array Terhadap Aroma Bubuk Kopi Robusta di Lima Perkebunan Kopi Wilayah Kabupaten Jember. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Ferdiansyah, O.R., E. Utami, A. Amborowati. 2015. Implementasi Principal Component Analysis untuk Sistem Temu Balik Citra Digital. *Creative Information Technology Journal* 2(3): 218-31.
- Gardner, J. W., M. Craven, C. Dow, and E. L. Hines. 1998. The Prediction of Bacteria Type and Culture Growth Phase by an Electronic Nose with a Multi-Layer Perceptron Network. *Measurement Science and Technology* 9(1): 120–27.
- Guz, Ł., Łagód, G., Jaromin-Gleń, K., Suchorab, Z., Sobczuk, H., & Bieganski, A. (2015). Application of gas sensor arrays in assessment of wastewater purification effects. *Sensors (Switzerland)*, 15(1), 1–21. <https://doi.org/10.3390/s150100001>.
- Higdon, J. V., and B. Frei. 2006. Coffee and Health: A Review of Recent Human Research. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 46(2): 101–23.
- International Coffee Organization. 2020. *Coffee Prices Rise in July after Three Months of Decline*. [Serial Online]. <http://www.ico.org/documents/cy2019-20/cmr-0720-e.pdf>. [Diakses 25 September 2020].
- Jayanti. 2019. Identifikasi Aroma Kopi Robusta Wilayah Banyuwangi

Berdasarkan Pola Respon Menggunakan Sensor Gas Array. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.

Ji, Chin May *et al.* 2009. A Fully Temperature Controlled Test Chamber for the Application of Gas Sensor Characterization. *SCORED2009 - Proceedings of 2009 IEEE Student Conference on Research and Development*: 495–500.

Johnson, R. A. dan D. W. Wichern. 2007. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Edisi Keenam. Pearson Prentice Hall.

Kemendag. 2020. *Monthly Trade Figures Indonesia*. [Serial Online]. <https://statistik.kemendag.go.id/publication/>. [Diakses 24 Oktober 2020].

Konduru, T., G. C. Rains, and C. Li. 2015. A Customized Metal Oxide Semiconductor-Based Gas Sensor Array for Onion Quality Evaluation: System Development and Characterization. *Sensors (Switzerland)* 15(1): 1252–73.

Larsen, Ronald W. 2011. *LabVIEW for Engineers*. Boston: Prentice Hall.

LeBlanc, Michael. 2010. A Design For A Remote Fuel Oil Gauge II. <http://blog.generaleccentric.net/?p=336>.

Lezzi, A. M. *et al.* 2001. Influence of Gaseous Species Transport on the Response of Solid State Gas Sensors within Enclosures. *Sensors and Actuators, B: Chemical* 78(1–3): 144–50.

Mahmoudi, Esmail. 2009. Electronic Nose Technology and Its Applications. *Sensors & Transducers Journal* 107(8): 17–25.

Mamat, M., Samad, S. A., & Hannan, M. A. (2011). An electronic nose for reliable measurement and correct classification of beverages. *Sensors*, 11(6), 6435-6435. <https://doi.org/10.3390/s110606435>.

Martono, G. H., T. B. Adji, dan N. A. Setiawan. 2012. Penggunaan Metodologi Analisa Komponen Utama (PCA) untuk Mereduksi Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Penyakit Jantung Koroner. *Seminar Nasional "Science, Engineering and Technology"*: 1–5.

Nishom, M. (2019). Perbandingan Akurasi Euclidean Distance, Minkowski Distance, dan Manhattan Distance pada Algoritma K-Means Clustering berbasis Chi-Square. *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, 4(1), 20–24. <https://doi.org/10.30591/jpit.v4i1.1253>

Oestreich-Janzen, S. 2013. *Chemistry of Coffee*. Hamburg, Germany: Elsevier Inc.

- Pratiwi, D. E., dan A. Harjoko. 2013. Implementasi Pengenalan Wajah Menggunakan PCA (*Principal Component Analysis*). *Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems (IJEIS)*, Vol. 3, No. 2, Hal 175-184.
- Rabersyah, D., Firdaus, and Derisma. 2016. Identifikasi Jenis Bubuk Kopi Menggunakan Electronic Nose Dengan Metode Pembelajaran Backpropagation. *Jurnal Nasional Teknik Elektro* 5(3).
- Rahardjo, Pudji. 2017. *Berkebun Kopi*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Ramadhan, S., A. A. Munawar, D. Nurba. 2016. Aplikasi NIRS dan *Principal Component Analysis* (PCA) untuk Mendeteksi Daerah Asal Biji Kopi Arabika (*Coffea arabica*). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian Unsyiah* 2(1): 320–30.
- Ramgir, Niranjana *et al.* 2013. Metal Oxide Nanowires for Chemiresistive Gas Sensors: Issues, Challenges and Prospects. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 439: 101–16.
- Ridwansyah. 2003. *Pengolahan Kopi*. Sumatera: Universitas Sumatera Utara.
- Rivai, M., T. Mujiono dan D. Purwanto. 2009. Pengaruh Variasi Suhu Periodik Terhadap Selektivitas Gas Semikonduktor. *Jurnal Industri* 8(1): 59–64.
- Rodriguez, J., C. Duran, and A. Reyes. 2010. Electronic Nose for Quality Control of Colombian Coffee Through the Detection of Defects in "Cup Tests". *Sensors* 10(1): 36–46.
- Rokhani. 2012. Penguatan Modal Sosial dalam Penanganan Produk Olahan Kopi pada Komunitas Petani Kopi di Kabupaten Jember. *Journal of Social and Agricultural Economics* 6(1): 20–34.
- Sadeghifard, S., and L. Esmailani. 2012. A New Embedded E-Nose System to Identify Smell of Smoke. *Proceedings - 2012 7th International Conference on System of Systems Engineering, SoSE 2012*: 253–57.
- Samiyan, N. S., and M. M. Addi. 2017. Characterization of Sensing Chamber Design for E-Nose Applications. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering* 9(3–9): 123–27.
- Scott, S. M, D. James, Z. Ali, and W. T O Hare. 2004. Optimising of The Sensing Chamber of An Array of Fluid Dynamic Simulation. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 76: 693–708.
- Suryantoro, H., and A. Budiyo. 2019. Prototype Sistem Monitoring Level Air

Berbasis LabVIEW & Arduino Sebagai Sarana Pendukung Praktikum Instrumentasi Sistem Kendali. *Indonesian Journal of Laboratory* 1(3): 20–32.

Susetyoko, R. dan E. Purwantini. 2010. Teknik Reduksi Dimensi Menggunakan Komponen Utama Data Partisi pada Pengklasifikasian Data Berdimensi Tinggi dengan Ukuran Sampel Kecil. 2010(Ies): 978-79.

Tukijan, S. N. M., M. A. A. Razak, and F. K. C. Harun. 2013. SbRIO Lab-on-Chip Gas Sensing and Monitoring for Multisensory Array. *Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering)* 61(2 SUPPL): 39–44.

Viccione, Giacomo *et al.* 2012. Performance Study of E-Nose Measurement Chamber for Environmental Odour Monitoring. *Chemical Engineering Transactions* 30: 109–14.

Wilson, A.D., and M. Baietto. 2009. Applications and Advances in Electronic-Nose Technologies. *Sensors* 9(7): 5099–5148.

Winarno, S. T., and Darsono. 2019. *Ekonomi Kopi Rakyat Robusta Di Jawa Timur*. Ponorogo: Uwais Inspirasi Indonesia.

Winsen. 2020. MQ-135 *Semiconductor Sensor for Air Quality*. [Serial Online]. <https://www.winsen-sensor.com/sensors/voc-sensor/mq135.html>. [Diakses pada 21 Desember 2020].

Winsen. 2020. MQ-136 *Gas Sensor for Hydrogen Sulfide*. [Serial Online]. <https://www.winsen-sensor.com/sensors/toxic-gas-sensor/mq136.html>. [Diakses pada 21 Desember 2020].

Winsen. 2020. MQ-2 *Smoke Sensor*. [Serial Online]. <https://www.winsen-sensor.com/sensors/combustible-sensor/mq2.html>. [Diakses pada 21 Desember 2020].

Winsen. 2020. MQ-7B *Carbon Monoxide Sensor*. [Serial Online]. <https://www.winsen-sensor.com/sensors/co-sensor/mq-7b.html>. [Diakses pada 21 Desember 2020].

Winsen. 2020. MQ-8 *Hydrogen Sensor*. [Serial Online]. <https://www.winsen-sensor.com/sensors/h2-sensor/mq8.html>. [Diakses pada 21 Desember 2020].

Winsen. 2020. MQ-9B *CO & CH4 Detection Sensor*. [Serial Online]. <https://www.winsen-sensor.com/sensors/combustible-sensor/mq9b.html>. [Diakses pada 21 Desember 2020].

Wulandari, Indah Sri. 2010. Perbandingan Ekspor Kopi Dua Pemasok Utama

Dunia Indonesia Dan Brazil: Sebuah Analisis Ekonomi Data Panel 2001-2006. *Unisia* 33(73): 3–16.

Yusianto, and D. Nugroho. 2014. Physical and Flavor Profiles of Arabica Coffee as Affected by Cherry Storage Before Pulping. *Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal)* 30(2): 137–58.

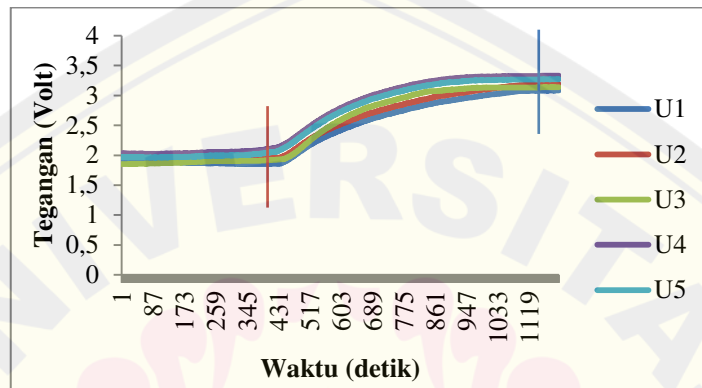


LAMPIRAN

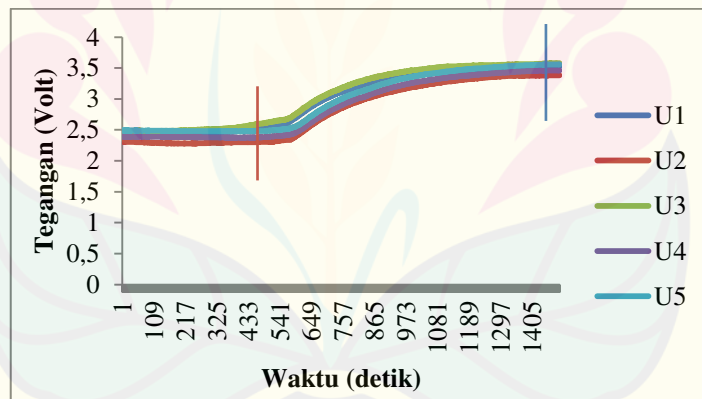
Lampiran 4.1 Respon setiap Jenis Sensor pada Pengukuran Kopi Robusta Sidomulyo di berbagai Variasi Desain *Chamber*

a. MQ-136

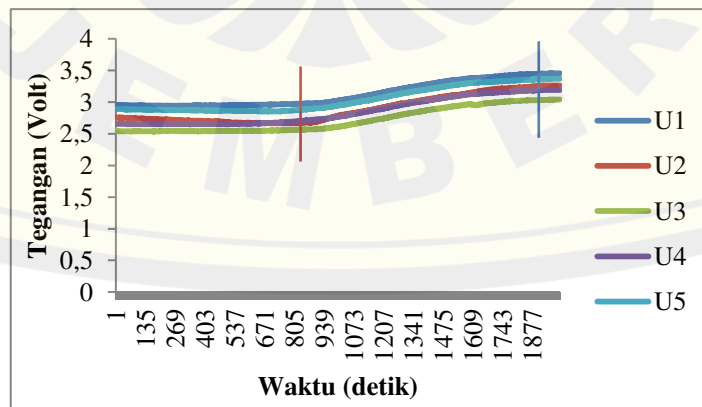
- Desain 1



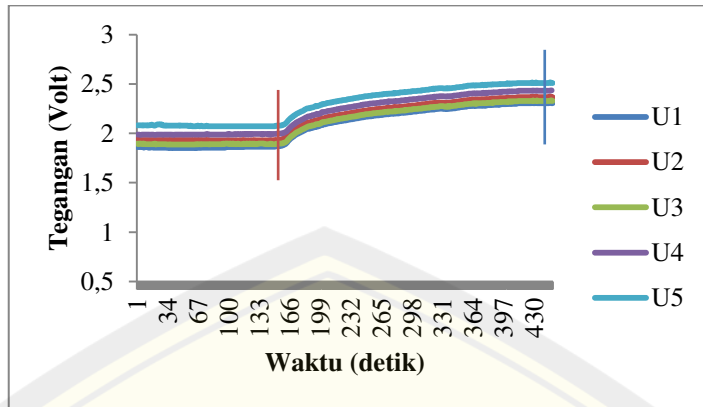
- Desain 2



- Desain 3

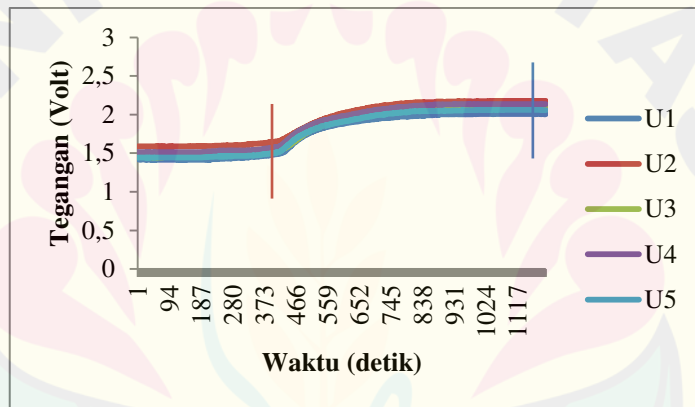


- Desain 4

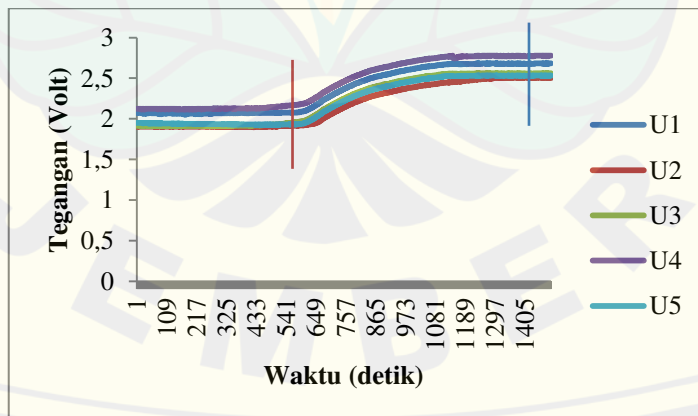


b. MQ-135

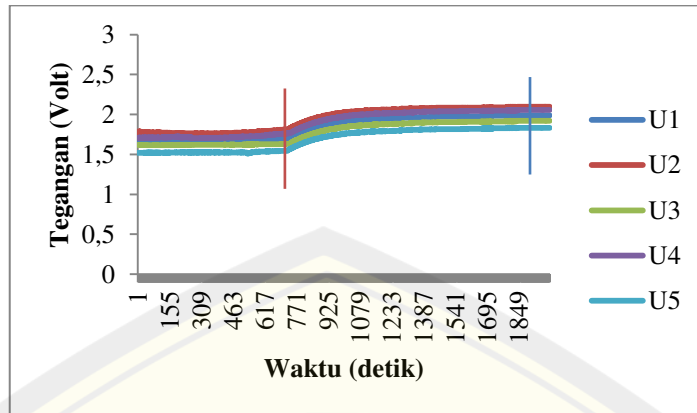
- Desain 1



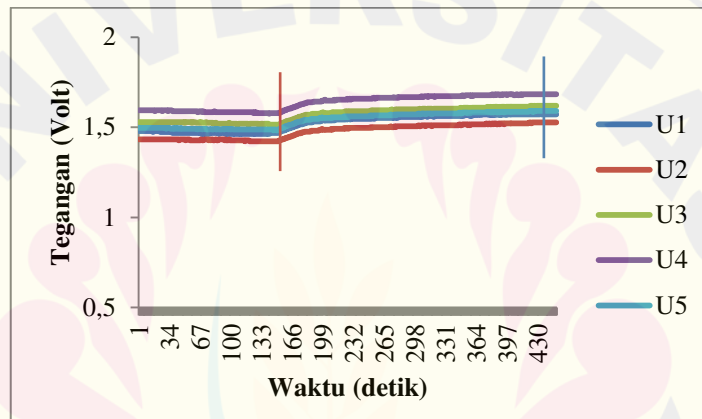
- Desain 2



- Desain 3

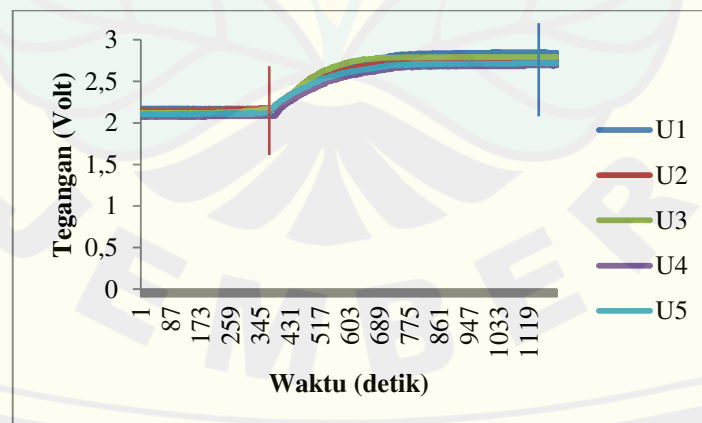


- Desain 4

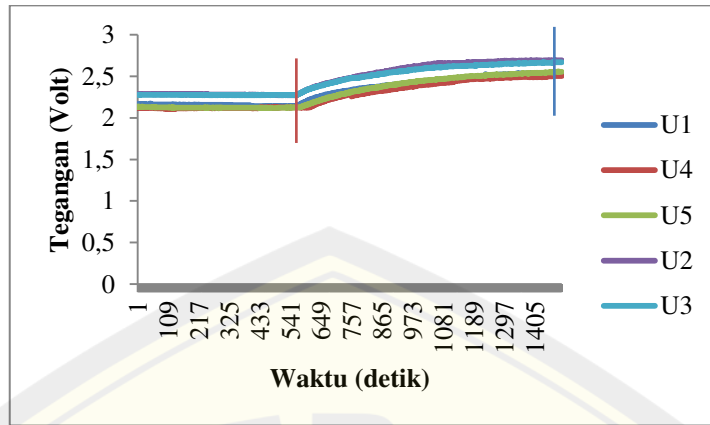


c. MQ-3

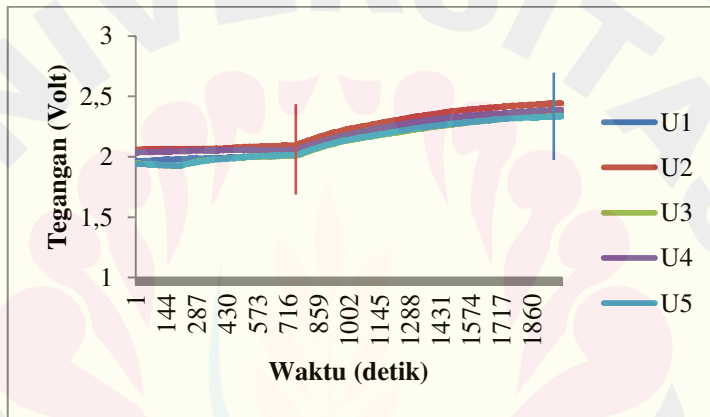
- Desain 1



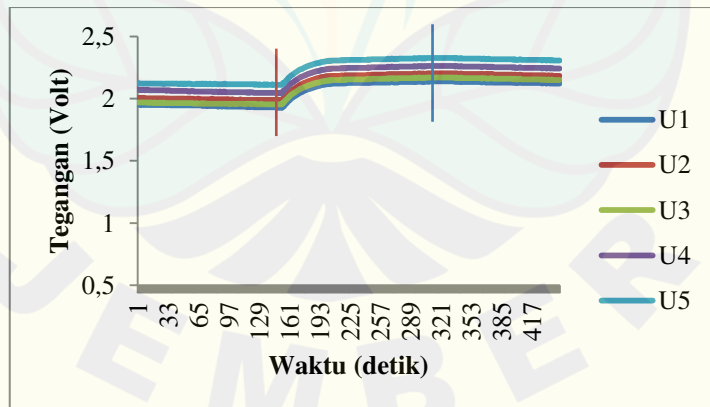
- Desain 2



- Desain 3



- Desain 4



Lampiran 4.2 Data Tegangan Sensor Terhadap Uap Air (*Baseline*)

Sampel	Chamber	Tegangan (V)							
		MQ-136	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7	MQ-8	MQ-9
Sidomulyo	1	1,950	1,483	1,454	2,124	0,868	2,964	1,055	1,594
	2	2,412	1,989	1,686	2,193	1,303	3,277	1,322	1,812
	3	2,753	1,659	1,435	1,988	1,008	3,175	1,479	2,493
	4	1,947	1,505	1,387	2,017	0,972	3,021	1,096	1,745
Bangsalsari	1	2,203	1,436	1,377	2,001	0,745	3,041	1,017	2,502
	2	2,360	1,518	1,593	1,817	1,114	2,737	1,007	1,730
	3	2,639	1,700	1,533	1,904	1,340	3,400	1,524	1,979
	4	2,074	1,680	1,362	2,097	1,060	3,084	1,151	1,619

Lampiran 4.3 Nilai Perhitungan %RSD (Relatif Standar Deviasi) Uap Air

Sampel	Chamber	%RSD (%)							
		MQ-136	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7	MQ-8	MQ-9
Sidomulyo	1	3,59	4,58	3,84	1,87	5,28	3,42	4,41	4,70
	2	3,41	4,99	4,74	3,68	5,10	3,52	7,62	2,80
	3	6,07	5,89	2,65	2,86	8,56	2,56	2,43	1,96
	4	4,58	4,02	4,22	3,54	4,74	2,76	3,11	4,59
Bangsalsari	1	2,69	5,19	4,50	1,78	5,12	2,69	4,84	2,72
	2	5,63	6,56	5,56	3,71	4,62	4,49	7,52	4,95
	3	5,06	4,00	3,84	3,92	4,93	2,15	8,15	6,75
	4	3,53	4,69	4,58	4,07	4,66	3,05	5,11	4,99

Lampiran 4.4 Penentuan Pola Respon Sensor Gas *Array* untuk Aroma Kopi

- a. Pola Respon Sensor terhadap Aroma Kopi Robusta Sidomulyo dengan Menggunakan *Chamber* 1 (data yang diambil adalah rata-rata 5 kali pengulangan)

Sampel:

Uap Kopi	Tegangan (V)							
	MQ-136	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7	MQ-8	MQ-9
	3,202	2,097	1,907	2,763	2,057	3,509	1,904	2,245

Referensi:

Uap Air	Tegangan (V)							
	MQ-136	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7	MQ-8	MQ-9
	1,949	1,483	1,454	2,124	0,868	2,964	1,055	1,595
	1,952	1,483	1,454	2,126	0,868	2,964	1,055	1,595
	1,952	1,483	1,454	2,124	0,868	2,964	1,055	1,595
	1,952	1,483	1,454	2,124	0,868	2,965	1,054	1,594
	1,949	1,482	1,454	2,124	0,868	2,964	1,054	1,595
	1,950	1,483	1,454	2,123	0,867	2,964	1,055	1,595
	1,951	1,483	1,454	2,124	0,868	2,964	1,055	1,595
	1,950	1,483	1,454	2,124	0,867	2,964	1,055	1,594
	1,952	1,483	1,457	2,123	0,868	2,964	1,055	1,594
	1,949	1,483	1,457	2,124	0,868	2,964	1,055	1,595
	1,950	1,483	1,457	2,124	0,868	2,964	1,055	1,595
	1,950	1,482	1,455	2,124	0,868	2,964	1,054	1,595
	1,952	1,483	1,454	2,126	0,868	2,964	1,055	1,595
	1,949	1,483	1,455	2,124	0,867	2,964	1,055	1,595
	1,952	1,483	1,454	2,124	0,867	2,965	1,054	1,594
	1,952	1,483	1,454	2,124	0,868	2,964	1,054	1,594
	1,950	1,483	1,454	2,124	0,867	2,964	1,055	1,595
	1,947	1,483	1,454	2,125	0,869	2,964	1,054	1,594
	1,948	1,483	1,456	2,123	0,868	2,964	1,055	1,594
	1,950	1,483	1,455	2,124	0,868	2,964	1,055	1,593
	1,950	1,482	1,454	2,123	0,868	2,964	1,055	1,594
	1,948	1,482	1,455	2,124	0,868	2,964	1,055	1,593
	1,950	1,482	1,455	2,124	0,868	2,964	1,053	1,593
	1,952	1,482	1,454	2,124	0,868	2,964	1,054	1,593
	1,950	1,480	1,456	2,124	0,868	2,964	1,055	1,593
	1,948	1,481	1,454	2,123	0,868	2,964	1,054	1,594
	1,950	1,483	1,455	2,124	0,867	2,964	1,055	1,594
	1,950	1,480	1,455	2,124	0,868	2,964	1,053	1,593
	1,948	1,482	1,454	2,123	0,870	2,964	1,054	1,594
	1,948	1,482	1,455	2,123	0,869	2,964	1,055	1,595
Rata-rata	1,950	1,483	1,454	2,124	0,868	2,964	1,055	1,594

Selisih Nilai Tegangan:

	Tegangan (V)							
	MQ-136	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7	MQ-8	MQ-9
Kopi	3,202	2,097	1,907	2,763	2,057	3,509	1,904	2,245
Air	1,950	1,483	1,454	2,124	0,868	2,964	1,055	1,594
Selisih	1,252	0,614	0,453	0,639	1,189	0,545	0,849	0,650

- b. Kumpulan Selisih Nilai Tegangan Kopi Robusta Sidomulyo terhadap Nilai Tegangan Uap Air diberbagai Variasi *Chamber*

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)							
	MQ-136	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7	MQ-8	MQ-9
2	1,087	0,623	0,681	0,396	0,525	0,334	0,313	0,308
3	0,511	0,319	0,464	0,386	0,900	0,336	0,361	0,549
4	0,442	0,093	0,209	0,203	0,328	0,158	0,053	0,139

- c. Kumpulan Selisih Nilai Tegangan Kopi Robusta Bangsalsari terhadap Nilai Tegangan Uap Air di berbagai Desain *Chamber*

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)							
	MQ-136	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7	MQ-8	MQ-9
1	0,897	0,619	0,529	0,898	0,971	0,730	0,415	0,515
2	0,981	0,368	0,599	0,406	0,915	0,670	0,454	0,396
3	0,771	0,392	0,543	0,561	0,497	0,150	0,719	0,959
4	0,355	0,160	0,184	0,254	0,045	0,569	0,062	0,099

Lampiran 4.5 Nilai %RSD Sensor *Array* dalam Pengukuran Kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari di berbagai Variasi Desain *Chamber*

4.5.1 Kopi Robusta Sidomulyo

- a. Pengulangan Minggu Pertama

- Sensor MQ 136

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	1,187	1,188	1,282	1,302	1,303	1,252	0,060	4,77
2	1,100	1,198	1,097	1,070	1,070	1,087	0,016	1,44
3	0,504	0,516	0,505	0,542	0,489	0,511	0,020	3,88
4	0,453	0,435	0,443	0,443	0,434	0,442	0,008	1,75

- Sensor MQ 135

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,587	0,590	0,655	0,621	0,619	0,614	0,028	4,48
2	0,615	0,601	0,654	0,654	0,591	0,623	0,029	4,73
3	0,322	0,316	0,303	0,343	0,311	0,319	0,015	4,70
4	0,098	0,094	0,090	0,090	0,094	0,093	0,003	3,54

- Sensor MQ 2

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,448	0,459	0,448	0,446	0,461	0,453	0,007	1,48
2	0,664	0,640	0,713	0,712	0,674	0,681	0,032	4,63
3	0,469	0,429	0,475	0,493	0,455	0,464	0,024	5,13
4	0,212	0,215	0,210	0,202	0,205	0,209	0,006	2,71

- Sensor MQ 3

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,674	0,616	0,673	0,616	0,616	0,639	0,032	4,94
2	0,375	0,406	0,392	0,386	0,421	0,396	0,018	4,53
3	0,405	0,382	0,397	0,353	0,400	0,386	0,021	5,31
4	0,195	0,206	0,206	0,202	0,208	0,203	0,005	2,56

- Sensor MQ 6

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	1,148	1,148	1,211	1,235	1,202	1,189	0,039	3,29
2	0,541	0,497	0,520	0,523	0,541	0,525	0,018	3,47
3	0,923	0,872	0,846	0,954	0,905	0,900	0,042	4,72
4	0,332	0,304	0,337	0,334	0,335	0,328	0,014	4,21

- Sensor MQ 7

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,521	0,551	0,547	0,554	0,554	0,545	0,014	2,54
2	0,343	0,352	0,326	0,322	0,326	0,334	0,013	3,86
3	0,329	0,352	0,333	0,348	0,318	0,334	0,014	4,16
4	0,151	0,168	0,163	0,153	0,155	0,158	0,007	4,44

- Sensor MQ 8

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,835	0,826	0,815	0,854	0,914	0,849	0,039	4,60
2	0,293	0,313	0,314	0,310	0,336	0,313	0,015	4,94
3	0,358	0,372	0,372	0,357	0,348	0,361	0,010	2,90
4	0,053	0,055	0,054	0,055	0,050	0,053	0,002	3,72

- Sensor MQ 9

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,691	0,650	0,627	0,658	0,626	0,650	0,027	4,14
2	0,323	0,318	0,306	0,303	0,291	0,308	0,013	4,13

3	0,506	0,512	0,476	0,514	0,474	0,496	0,020	3,96
4	0,144	0,140	0,139	0,136	0,136	0,140	0,003	2,50

b. Pengulangan Minggu Ketiga

- Sensor MQ 136

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	1,183	1,280	1,276	1,298	1,298	1,267	0,048	3,78
2	1,178	1,158	1,126	1,139	1,149	1,150	0,020	1,70
3	0,497	0,507	0,536	0,500	0,540	0,516	0,020	3,94
4	0,515	0,560	0,541	0,521	0,534	0,534	0,018	3,31

- Sensor MQ 135

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,719	0,695	0,738	0,703	0,734	0,718	0,019	2,66
2	0,651	0,695	0,678	0,644	0,669	0,667	0,020	3,03
3	0,342	0,344	0,353	0,346	0,343	0,345	0,004	1,29
4	0,100	0,091	0,095	0,094	0,101	0,096	0,004	4,35

- Sensor MQ 2

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,514	0,520	0,505	0,484	0,490	0,503	0,015	3,08
2	0,724	0,713	0,757	0,721	0,728	0,729	0,017	2,34
3	0,481	0,479	0,453	0,497	0,475	0,477	0,016	3,26
4	0,193	0,201	0,214	0,211	0,213	0,206	0,009	4,34

- Sensor MQ 3

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,676	0,631	0,733	0,649	0,694	0,677	0,040	5,86
2	0,535	0,506	0,532	0,546	0,512	0,526	0,017	3,17
3	0,427	0,436	0,403	0,459	0,445	0,434	0,021	4,87
4	0,221	0,225	0,232	0,229	0,216	0,225	0,006	2,81

- Sensor MQ 6

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	1,205	1,232	1,225	1,202	1,221	1,217	0,013	1,06
2	0,768	0,757	0,737	0,679	0,710	0,730	0,036	4,94
3	1,002	1,007	0,939	0,985	0,965	0,980	0,028	2,85
4	0,344	0,342	0,343	0,343	0,378	0,350	0,015	4,43

- Sensor MQ 7

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,621	0,645	0,628	0,588	0,589	0,614	0,025	4,09
2	0,373	0,349	0,399	0,376	0,368	0,373	0,018	4,83
3	0,371	0,343	0,344	0,341	0,343	0,348	0,013	3,67
4	0,167	0,157	0,167	0,167	0,178	0,167	0,007	4,37

- Sensor MQ 8

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,938	0,929	0,962	0,945	0,952	0,945	0,013	1,35
2	0,465	0,451	0,431	0,455	0,407	0,442	0,023	5,20
3	0,415	0,457	0,446	0,463	0,471	0,450	0,022	4,81
4	0,060	0,059	0,062	0,057	0,060	0,060	0,001	2,78

- Sensor MQ 9

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,708	0,752	0,733	0,713	0,713	0,724	0,018	2,54
2	0,345	0,327	0,330	0,304	0,332	0,328	0,015	4,60
3	0,508	0,558	0,577	0,535	0,571	0,550	0,028	5,16
4	0,154	0,160	0,154	0,150	0,158	0,155	0,004	2,60

c. Pengulangan Minggu Kelima

- Sensor MQ 136

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	1,524	1,462	1,461	1,414	1,513	1,475	0,045	3,02
2	1,223	1,215	1,166	1,222	1,199	1,205	0,024	1,97
3	0,678	0,673	0,641	0,639	0,649	0,656	0,018	2,79
4	0,597	0,633	0,603	0,632	0,612	0,615	0,017	2,71

- Sensor MQ 135

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,835	0,757	0,777	0,829	0,769	0,793	0,036	4,54
2	0,771	0,737	0,759	0,708	0,781	0,751	0,029	3,89
3	0,421	0,410	0,383	0,387	0,427	0,406	0,020	4,88
4	0,101	0,106	0,105	0,110	0,105	0,105	0,003	3,05

- Sensor MQ 2

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,530	0,537	0,515	0,518	0,530	0,526	0,009	1,79
2	0,754	0,738	0,791	0,773	0,753	0,762	0,020	2,68
3	0,498	0,502	0,478	0,465	0,476	0,484	0,016	3,27
4	0,223	0,226	0,220	0,212	0,231	0,222	0,007	3,14

- Sensor MQ 3

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,768	0,778	0,724	0,787	0,797	0,771	0,028	3,67
2	0,656	0,623	0,638	0,615	0,634	0,633	0,015	2,44
3	0,466	0,455	0,446	0,424	0,436	0,445	0,016	3,66
4	0,250	0,239	0,240	0,235	0,250	0,243	0,007	2,91

- Sensor MQ 6

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	1,176	1,172	1,201	1,167	1,168	1,177	0,014	1,20
2	0,779	0,760	0,772	0,805	0,703	0,764	0,038	4,96
3	1,062	1,065	1,066	1,090	1,136	1,084	0,031	2,88
4	0,358	0,349	0,384	0,351	0,346	0,357	0,016	4,40

- Sensor MQ 7

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,661	0,631	0,684	0,649	0,693	0,664	0,025	3,82
2	0,469	0,489	0,479	0,479	0,455	0,474	0,013	2,70
3	0,328	0,327	0,328	0,319	0,328	0,326	0,004	1,22
4	0,171	0,192	0,185	0,183	0,188	0,184	0,008	4,31

- Sensor MQ 8

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	1,113	1,055	1,050	1,045	1,069	1,066	0,027	2,58
2	0,530	0,503	0,483	0,504	0,512	0,506	0,017	3,36
3	0,514	0,499	0,486	0,548	0,501	0,510	0,024	4,65
4	0,069	0,068	0,070	0,073	0,064	0,069	0,003	4,79

- Sensor MQ 9

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,822	0,797	0,806	0,821	0,827	0,815	0,012	1,52
2	0,282	0,300	0,265	0,279	0,274	0,280	0,013	4,52

3	0,573	0,581	0,587	0,582	0,590	0,583	0,006	1,10
4	0,171	0,174	0,181	0,166	0,176	0,174	0,006	3,19

d. Pengulangan Minggu Ketujuh

- Sensor MQ 136

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	1,040	1,044	0,972	1,091	0,987	1,025	0,050	4,89
2	0,943	0,959	0,958	0,919	1,001	0,956	0,030	3,14
3	0,480	0,435	0,451	0,428	0,472	0,453	0,023	4,98
4	0,401	0,439	0,416	0,428	0,438	0,424	0,016	3,77

- Sensor MQ 135

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,666	0,660	0,590	0,612	0,685	0,642	0,040	6,18
2	0,558	0,520	0,553	0,566	0,496	0,538	0,030	5,49
3	0,243	0,226	0,225	0,251	0,224	0,234	0,012	5,33
4	0,073	0,069	0,069	0,068	0,075	0,071	0,003	4,22

- Sensor MQ 2

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,422	0,413	0,417	0,444	0,461	0,431	0,021	4,76
2	0,590	0,573	0,620	0,607	0,562	0,590	0,024	4,06
3	0,316	0,322	0,352	0,328	0,313	0,326	0,015	4,68
4	0,175	0,164	0,172	0,172	0,175	0,171	0,004	2,55

- Sensor MQ 3

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,548	0,584	0,593	0,567	0,595	0,578	0,020	3,41
2	0,421	0,426	0,389	0,406	0,422	0,413	0,015	3,63
3	0,312	0,353	0,332	0,349	0,331	0,335	0,016	4,85
4	0,176	0,181	0,190	0,181	0,189	0,183	0,005	2,89

- Sensor MQ 6

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,888	0,881	0,855	0,899	0,832	0,871	0,027	3,14
2	0,652	0,682	0,712	0,691	0,687	0,685	0,021	3,14
3	0,691	0,753	0,680	0,700	0,733	0,711	0,031	4,36
4	0,286	0,300	0,289	0,289	0,279	0,289	0,007	2,60

- Sensor MQ 7

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,542	0,621	0,570	0,567	0,558	0,572	0,030	5,23
2	0,335	0,334	0,326	0,338	0,335	0,334	0,004	1,32
3	0,283	0,297	0,299	0,294	0,280	0,291	0,009	2,98
4	0,135	0,147	0,147	0,137	0,138	0,141	0,006	4,10

- Sensor MQ 8

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,738	0,734	0,708	0,680	0,704	0,713	0,024	3,34
2	0,355	0,334	0,341	0,313	0,335	0,336	0,015	4,55
3	0,404	0,427	0,390	0,428	0,400	0,409	0,017	4,13
4	0,044	0,050	0,048	0,049	0,046	0,047	0,002	4,98

- Sensor MQ 9

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,556	0,565	0,551	0,556	0,522	0,550	0,016	2,93
2	0,285	0,251	0,269	0,275	0,274	0,271	0,012	4,58
3	0,464	0,438	0,460	0,432	0,444	0,448	0,014	3,07
4	0,121	0,125	0,124	0,124	0,115	0,122	0,004	3,46

4.5.2 Kopi Robusta Bangsalsari

a. Pengulangan Minggu Pertama

- Sensor MQ 136

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,910	0,943	0,890	0,913	0,830	0,897	0,042	4,70
2	0,977	0,957	1,018	0,947	1,006	0,981	0,031	3,11
3	0,776	0,746	0,827	0,782	0,726	0,771	0,039	5,00
4	0,335	0,341	0,358	0,367	0,371	0,354	0,016	4,48

- Sensor MQ 135

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,623	0,628	0,610	0,616	0,619	0,619	0,007	1,11
2	0,367	0,357	0,388	0,366	0,361	0,368	0,012	3,27
3	0,389	0,377	0,391	0,416	0,391	0,392	0,015	3,74
4	0,160	0,161	0,165	0,161	0,155	0,160	0,004	2,28

- Sensor MQ 2

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,552	0,547	0,503	0,546	0,499	0,529	0,026	4,95
2	0,626	0,616	0,563	0,625	0,565	0,599	0,032	5,41
3	0,558	0,531	0,542	0,546	0,536	0,543	0,010	1,88
4	0,177	0,191	0,176	0,184	0,190	0,183	0,007	3,73

- Sensor MQ 3

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,883	0,929	0,895	0,900	0,881	0,898	0,019	2,11
2	0,377	0,415	0,398	0,425	0,413	0,406	0,019	4,62
3	0,546	0,587	0,565	0,544	0,562	0,561	0,017	3,05
4	0,244	0,264	0,249	0,254	0,258	0,254	0,008	3,29

- Sensor MQ 6

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,962	0,961	0,981	0,980	0,971	0,971	0,009	0,96
2	0,882	0,926	0,932	0,914	0,922	0,915	0,020	2,16
3	0,497	0,491	0,519	0,480	0,500	0,497	0,014	2,89
4	0,048	0,043	0,043	0,044	0,045	0,045	0,002	4,57

- Sensor MQ 7

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,736	0,754	0,700	0,745	0,716	0,730	0,023	3,08
2	0,621	0,669	0,705	0,660	0,694	0,670	0,033	4,91
3	0,142	0,152	0,152	0,156	0,146	0,150	0,006	3,70
4	0,570	0,553	0,566	0,581	0,576	0,569	0,011	1,87

- Sensor MQ 8

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,412	0,397	0,418	0,443	0,407	0,415	0,017	4,18
2	0,464	0,470	0,415	0,451	0,470	0,454	0,023	5,09
3	0,752	0,737	0,689	0,684	0,733	0,719	0,030	4,21
4	0,059	0,065	0,063	0,063	0,059	0,062	0,003	4,30

- Sensor MQ 9

<i>Chamber</i>	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,494	0,537	0,491	0,508	0,547	0,515	0,025	4,92
2	0,402	0,391	0,406	0,386	0,398	0,396	0,008	1,99

3	0,987	0,993	0,938	0,957	0,919	0,959	0,031	3,27
4	0,093	0,106	0,100	0,097	0,102	0,099	0,004	4,92

b. Pengulangan Minggu Ketiga

- Sensor MQ 136

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,908	0,950	0,939	0,966	0,902	0,933	0,027	2,94
2	1,303	1,332	1,316	1,234	1,303	1,298	0,037	2,88
3	0,821	0,869	0,821	0,812	0,836	0,832	0,023	2,73
4	0,361	0,392	0,374	0,381	0,355	0,373	0,015	4,02

- Sensor MQ 135

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,638	0,637	0,624	0,650	0,642	0,638	0,010	1,51
2	0,462	0,455	0,415	0,431	0,430	0,439	0,019	4,44
3	0,412	0,392	0,383	0,402	0,407	0,399	0,012	2,93
4	0,171	0,165	0,174	0,172	0,182	0,173	0,006	3,58

- Sensor MQ 2

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,548	0,526	0,583	0,578	0,533	0,553	0,026	4,66
2	0,673	0,636	0,678	0,644	0,664	0,659	0,018	2,78
3	0,603	0,601	0,569	0,554	0,603	0,586	0,023	3,94
4	0,202	0,219	0,215	0,216	0,230	0,217	0,010	4,64

- Sensor MQ 3

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,928	0,892	0,941	0,936	0,907	0,921	0,021	2,27
2	0,420	0,396	0,435	0,401	0,435	0,418	0,019	4,45
3	0,522	0,570	0,562	0,572	0,553	0,556	0,021	3,69
4	0,283	0,280	0,289	0,263	0,268	0,277	0,010	3,87

- Sensor MQ 6

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,848	0,864	0,936	0,891	0,873	0,882	0,034	3,80
2	1,054	1,016	1,003	1,009	1,034	1,023	0,021	2,03
3	0,486	0,522	0,506	0,513	0,498	0,505	0,014	2,73
4	0,049	0,045	0,048	0,047	0,044	0,046	0,002	4,85

- Sensor MQ 7

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,873	0,816	0,876	0,840	0,809	0,843	0,031	3,70
2	0,756	0,736	0,817	0,724	0,746	0,756	0,036	4,82
3	0,174	0,179	0,178	0,191	0,182	0,181	0,006	3,58
4	0,616	0,604	0,635	0,587	0,631	0,615	0,020	3,20

- Sensor MQ 8

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,455	0,480	0,439	0,472	0,480	0,465	0,018	3,80
2	0,464	0,482	0,500	0,496	0,472	0,483	0,015	3,17
3	0,749	0,748	0,716	0,695	0,715	0,724	0,023	3,23
4	0,068	0,064	0,067	0,067	0,064	0,066	0,002	3,16

- Sensor MQ 9

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,532	0,524	0,550	0,555	0,529	0,538	0,014	2,55
2	0,611	0,596	0,637	0,632	0,587	0,613	0,022	3,59
3	0,992	0,954	0,967	0,953	0,943	0,962	0,019	1,97
4	0,107	0,108	0,108	0,106	0,115	0,109	0,003	3,07

c. Pengulangan Minggu Kelima

- Sensor MQ 136

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,967	0,991	0,943	0,977	1,011	0,978	0,025	2,58
2	1,458	1,441	1,523	1,417	1,392	1,446	0,050	3,45
3	0,910	0,819	0,878	0,844	0,853	0,861	0,034	4,00
4	0,415	0,445	0,410	0,420	0,398	0,418	0,017	4,17

- Sensor MQ 135

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,738	0,743	0,748	0,769	0,714	0,742	0,020	2,64
2	0,454	0,490	0,459	0,479	0,455	0,467	0,016	3,45
3	0,602	0,529	0,534	0,544	0,529	0,548	0,031	5,67
4	0,213	0,209	0,197	0,211	0,209	0,208	0,006	3,11

- Sensor MQ 2

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,709	0,675	0,676	0,678	0,665	0,680	0,017	2,44
2	0,797	0,706	0,763	0,743	0,758	0,753	0,033	4,39
3	0,720	0,734	0,711	0,696	0,735	0,719	0,016	2,27
4	0,239	0,238	0,225	0,253	0,247	0,241	0,010	4,33

- Sensor MQ 3

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	1,020	1,028	0,996	1,009	0,969	1,004	0,023	2,33
2	0,520	0,448	0,484	0,499	0,475	0,485	0,027	5,51
3	0,611	0,572	0,577	0,606	0,590	0,591	0,017	2,86
4	0,319	0,309	0,298	0,305	0,308	0,308	0,007	2,41

- Sensor MQ 6

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,992	0,965	0,971	1,015	0,965	0,982	0,022	2,22
2	1,157	1,143	1,124	1,054	1,121	1,120	0,040	3,54
3	0,572	0,613	0,591	0,594	0,585	0,591	0,015	2,52
4	0,054	0,050	0,053	0,051	0,050	0,051	0,002	3,08

- Sensor MQ 7

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	1,020	0,974	0,973	0,909	0,996	0,974	0,041	4,25
2	0,863	0,865	0,864	0,852	0,802	0,849	0,027	3,16
3	0,200	0,204	0,200	0,200	0,213	0,202	0,007	3,37
4	0,635	0,655	0,651	0,675	0,671	0,657	0,016	2,44

- Sensor MQ 8

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,561	0,532	0,592	0,534	0,534	0,551	0,026	4,76
2	0,505	0,513	0,533	0,493	0,524	0,513	0,016	3,05
3	0,894	0,815	0,818	0,815	0,814	0,831	0,035	4,23
4	0,070	0,074	0,069	0,072	0,069	0,071	0,002	3,08

- Sensor MQ 9

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,643	0,656	0,650	0,629	0,654	0,644	0,010	1,51
2	0,603	0,576	0,602	0,603	0,580	0,593	0,013	2,26

3	1,012	1,016	1,020	1,050	1,056	1,031	0,021	2,00
4	0,128	0,122	0,126	0,134	0,126	0,127	0,004	3,48

d. Pengulangan Minggu Ketujuh

- Sensor MQ 136

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,778	0,796	0,817	0,840	0,860	0,818	0,033	4,01
2	1,027	1,090	1,116	1,109	1,083	1,085	0,035	3,23
3	0,634	0,626	0,630	0,588	0,665	0,629	0,027	4,32
4	0,315	0,282	0,286	0,295	0,310	0,298	0,015	4,88

- Sensor MQ 135

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,559	0,556	0,561	0,559	0,545	0,556	0,006	1,17
2	0,308	0,318	0,337	0,334	0,341	0,328	0,014	4,23
3	0,349	0,336	0,366	0,372	0,350	0,354	0,014	4,07
4	0,141	0,152	0,138	0,142	0,141	0,142	0,005	3,81

- Sensor MQ 2

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,456	0,450	0,452	0,459	0,495	0,462	0,018	4,00
2	0,559	0,538	0,539	0,545	0,559	0,548	0,011	1,93
3	0,474	0,479	0,454	0,485	0,464	0,471	0,012	2,62
4	0,166	0,155	0,170	0,159	0,176	0,165	0,008	4,98

- Sensor MQ 3

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,807	0,717	0,760	0,720	0,755	0,752	0,036	4,85
2	0,316	0,318	0,306	0,340	0,330	0,322	0,013	4,09
3	0,509	0,483	0,526	0,508	0,500	0,505	0,016	3,08
4	0,222	0,239	0,237	0,228	0,234	0,232	0,007	3,12

- Sensor MQ 6

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,840	0,841	0,859	0,857	0,825	0,844	0,014	1,68
2	0,735	0,786	0,783	0,781	0,781	0,773	0,021	2,76
3	0,415	0,416	0,398	0,402	0,417	0,409	0,009	2,15
4	0,036	0,034	0,034	0,036	0,033	0,035	0,001	4,30

- Sensor MQ 7

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,661	0,737	0,710	0,683	0,709	0,700	0,029	4,16
2	0,690	0,665	0,695	0,610	0,656	0,663	0,034	5,09
3	0,118	0,122	0,117	0,108	0,117	0,116	0,005	4,50
4	0,462	0,474	0,501	0,481	0,475	0,478	0,014	2,99

- Sensor MQ 8

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,337	0,369	0,328	0,347	0,328	0,342	0,017	4,99
2	0,371	0,376	0,336	0,375	0,370	0,366	0,017	4,58
3	0,651	0,671	0,705	0,704	0,650	0,676	0,027	4,04
4	0,055	0,061	0,059	0,055	0,055	0,057	0,003	4,97

- Sensor MQ 9

Chamber	Tegangan (V)					Rata-rata	SD	% RSD (%)
	U1	U2	U3	U4	U5			
1	0,437	0,406	0,403	0,450	0,430	0,425	0,020	4,77
2	0,363	0,333	0,348	0,333	0,343	0,344	0,012	3,61
3	0,910	0,899	0,861	0,874	0,864	0,882	0,022	2,45
4	0,088	0,088	0,088	0,095	0,086	0,089	0,003	3,81

Lampiran 4.6 Nilai %RSD Sensor Array dalam Pengukuran Kopi Robusta Sidomulyo dan Bangsalsari dengan Variasi Desain Chamber untuk Menentukan Reprodusibilitas Sensor.

a. Kopi Robusta Sidomulyo

- Chamber 1

Sensor	Tegangan (V)				Rata-rata	SD	%RSD (%)
	Minggu 1	Minggu 3	Minggu 5	Minggu 7			
MQ-136	1,252	1,267	1,475	1,025	1,255	0,184	14,66
MQ-135	0,614	0,718	0,793	0,642	0,692	0,080	11,61
MQ-2	0,453	0,500	0,526	0,431	0,477	0,043	9,07
MQ-3	0,639	0,677	0,771	0,578	0,666	0,081	12,16
MQ-6	1,189	1,217	1,177	0,871	1,113	0,162	14,59
MQ-7	0,545	0,614	0,664	0,572	0,599	0,052	8,65
MQ-8	0,849	0,945	1,066	0,713	0,893	0,150	16,76
MQ-9	0,650	0,724	0,815	0,550	0,685	0,112	16,39

- Chamber 2

Sensor	Tegangan (V)				Rata-rata	SD	%RSD (%)
	Minggu 1	Minggu 3	Minggu 5	Minggu 7			
MQ-136	1,087	1,150	1,205	0,956	1,099	0,107	9,76
MQ-135	0,623	0,667	0,751	0,538	0,645	0,089	13,77
MQ-2	0,681	0,729	0,762	0,590	0,690	0,075	10,81
MQ-3	0,396	0,526	0,633	0,413	0,492	0,110	22,45
MQ-6	0,525	0,730	0,764	0,685	0,676	0,106	15,66
MQ-7	0,334	0,373	0,474	0,334	0,379	0,066	17,52
MQ-8	0,313	0,442	0,506	0,336	0,339	0,091	22,72
MQ-9	0,308	0,328	0,280	0,271	0,297	0,026	8,77

- Chamber 3

Sensor	Tegangan (V)				Rata-rata	SD	%RSD (%)
	Minggu 1	Minggu 3	Minggu 5	Minggu 7			
MQ-136	0,511	0,516	0,656	0,453	0,534	0,086	16,12
MQ-135	0,319	0,345	0,406	0,234	0,326	0,071	21,88
MQ-2	0,464	0,477	0,484	0,326	0,438	0,075	17,09
MQ-3	0,386	0,434	0,445	0,335	0,400	0,050	12,54
MQ-6	0,900	0,980	1,084	0,711	0,919	0,158	17,15
MQ-7	0,336	0,348	0,326	0,291	0,325	0,025	7,61
MQ-8	0,361	0,450	0,510	0,409	0,433	0,063	14,54
MQ-9	0,496	0,549	0,583	0,448	0,519	0,059	11,44

- Chamber 4

Sensor	Tegangan (V)				Rata-rata	SD	%RSD (%)
	Minggu 1	Minggu 3	Minggu 5	Minggu 7			
MQ-136	0,442	0,534	0,615	0,424	0,504	0,089	17,58
MQ-135	0,093	0,096	0,105	0,071	0,091	0,015	16,01
MQ-2	0,209	0,206	0,222	0,171	0,202	0,022	10,74
MQ-3	0,203	0,225	0,243	0,183	0,213	0,026	12,23
MQ-6	0,328	0,350	0,357	0,289	0,331	0,031	9,34
MQ-7	0,158	0,167	0,184	0,141	0,162	0,018	11,05
MQ-8	0,053	0,060	0,069	0,047	0,057	0,009	16,26
MQ-9	0,139	0,155	0,174	0,122	0,147	0,022	15,05

b. Kopi Robusta Bangsalsari

- Chamber 1

Sensor	Tegangan (V)				Rata-rata	SD	%RSD (%)
	Minggu 1	Minggu 3	Minggu 5	Minggu 7			
MQ-136	0,897	0,933	0,978	0,818	0,906	0,068	7,45
MQ-135	0,619	0,638	0,742	0,556	0,639	0,077	12,13
MQ-2	0,529	0,553	0,680	0,462	0,556	0,091	16,43
MQ-3	0,898	0,921	1,004	0,752	0,894	0,105	11,76
MQ-6	0,971	0,882	0,982	0,844	0,920	0,067	7,30
MQ-7	0,730	0,843	0,974	0,700	0,812	0,125	15,36
MQ-8	0,415	0,465	0,551	0,342	0,443	0,088	19,79
MQ-9	0,515	0,538	0,644	0,425	0,531	0,090	16,97

- Chamber 2

Sensor	Tegangan (V)				Rata-rata	SD	%RSD (%)
	Minggu 1	Minggu 3	Minggu 5	Minggu 7			
MQ-136	0,981	1,298	1,446	1,085	1,202	0,209	17,40
MQ-135	0,368	0,439	0,467	0,328	0,400	0,064	15,97
MQ-2	0,599	0,659	0,753	0,548	0,640	0,089	13,82
MQ-3	0,406	0,418	0,468	0,322	0,403	0,061	15,02
MQ-6	0,915	1,023	1,120	0,773	0,958	0,149	15,54
MQ-7	0,670	0,756	0,849	0,663	0,734	0,087	11,88
MQ-8	0,454	0,483	0,513	0,366	0,454	0,064	14,04
MQ-9	0,396	0,485	0,593	0,344	0,455	0,109	23,98

- Chamber 3

Sensor	Tegangan (V)				Rata-rata	SD	%RSD (%)
	Minggu 1	Minggu 3	Minggu 5	Minggu 7			
MQ-136	0,771	0,832	0,861	0,629	0,773	0,103	13,36
MQ-135	0,392	0,399	0,548	0,354	0,423	0,085	20,11
MQ-2	0,543	0,586	0,719	0,471	0,580	0,104	18,00
MQ-3	0,561	0,556	0,591	0,505	0,553	0,036	6,43
MQ-6	0,497	0,504	0,591	0,409	0,500	0,074	14,83
MQ-7	0,150	0,181	0,202	0,116	0,162	0,037	23,10
MQ-8	0,719	0,724	0,831	0,676	0,738	0,066	8,93
MQ-9	0,959	0,962	1,031	0,882	0,958	0,061	6,36

- Chamber 4

Sensor	Tegangan (V)				Rata-rata	SD	%RSD (%)
	Minggu 1	Minggu 3	Minggu 5	Minggu 7			
MQ-136	0,354	0,373	0,418	0,300	0,361	0,050	13,78
MQ-135	0,160	0,173	0,208	0,142	0,171	0,028	16,14
MQ-2	0,183	0,217	0,241	0,165	0,201	0,034	16,73
MQ-3	0,254	0,277	0,308	0,232	0,268	0,032	12,14
MQ-6	0,045	0,046	0,051	0,035	0,044	0,007	15,83
MQ-7	0,569	0,615	0,657	0,478	0,580	0,077	13,21
MQ-8	0,062	0,070	0,071	0,057	0,064	0,006	9,25
MQ-9	0,099	0,109	0,127	0,089	0,106	0,016	15,29

Lampiran 4.7 Analisis PCA (*Principal Component Analysis*)

a. Data yang di input

Chamber	MQ-136	MQ-135	MQ-3	MQ-6	MQ-7	MQ-8	MQ-9	MQ-2
C1B	0,910	0,623	0,883	0,962	0,736	0,412	0,494	0,552
C1B	0,943	0,628	0,929	0,961	0,754	0,397	0,537	0,547
C1B	0,890	0,610	0,895	0,981	0,699	0,418	0,491	0,503
C1B	0,913	0,616	0,900	0,980	0,745	0,443	0,508	0,546
C1B	0,830	0,619	0,882	0,971	0,716	0,407	0,547	0,499
C1S	1,187	0,587	0,674	1,148	0,521	0,835	0,691	0,448
C1S	1,188	0,590	0,616	1,148	0,551	0,826	0,650	0,459
C1S	1,282	0,655	0,673	1,211	0,546	0,815	0,627	0,448
C1S	1,302	0,621	0,616	1,235	0,553	0,854	0,658	0,446
C1S	1,303	0,619	0,616	1,202	0,553	0,914	0,626	0,461
C2B	0,977	0,367	0,377	0,882	0,621	0,464	0,402	0,626
C2B	0,957	0,357	0,415	0,926	0,669	0,470	0,391	0,616
C2B	1,018	0,388	0,398	0,932	0,705	0,415	0,406	0,563
C2B	0,947	0,366	0,425	0,914	0,660	0,451	0,386	0,625
C2B	1,006	0,361	0,413	0,922	0,694	0,470	0,398	0,565
C2S	1,100	0,615	0,375	0,541	0,343	0,293	0,323	0,664
C2S	1,098	0,601	0,406	0,497	0,352	0,313	0,318	0,640
C2S	1,097	0,654	0,392	0,520	0,326	0,314	0,306	0,713
C2S	1,070	0,654	0,386	0,523	0,322	0,310	0,303	0,712
C2S	1,070	0,591	0,421	0,541	0,326	0,336	0,291	0,674
C3B	0,776	0,386	0,546	0,497	0,142	0,752	0,987	0,558
C3B	0,746	0,377	0,587	0,491	0,152	0,737	0,993	0,531
C3B	0,827	0,391	0,565	0,519	0,152	0,689	0,938	0,542
C3B	0,782	0,416	0,544	0,480	0,156	0,684	0,957	0,546
C3B	0,726	0,391	0,563	0,500	0,146	0,733	0,919	0,536
C3S	0,504	0,322	0,405	0,923	0,329	0,358	0,506	0,469

C3S	0,516	0,316	0,382	0,872	0,352	0,372	0,512	0,429
C3S	0,505	0,303	0,397	0,846	0,333	0,372	0,476	0,475
C3S	0,542	0,343	0,353	0,954	0,348	0,357	0,514	0,493
C3S	0,489	0,311	0,396	0,905	0,318	0,348	0,474	0,455
C4B	0,335	0,160	0,244	0,048	0,570	0,059	0,093	0,177
C4B	0,341	0,161	0,264	0,043	0,553	0,065	0,106	0,191
C4B	0,358	0,165	0,249	0,043	0,566	0,063	0,100	0,176
C4B	0,367	0,161	0,254	0,044	0,581	0,063	0,097	0,184
C4B	0,371	0,155	0,258	0,045	0,576	0,059	0,102	0,190
C4S	0,453	0,098	0,195	0,332	0,151	0,053	0,144	0,212
C4S	0,435	0,094	0,206	0,304	0,168	0,055	0,140	0,215
C4S	0,443	0,090	0,206	0,337	0,163	0,054	0,139	0,210
C4S	0,443	0,090	0,202	0,334	0,153	0,055	0,136	0,202
C4S	0,434	0,094	0,208	0,335	0,155	0,050	0,136	0,205

b. Perintah dan Hasil Analisis

```
> library(ggfortify)
> library(readxl)
> data_variasichamber<-read_excel("D:/Variasichamber.xlsx")
> pca_data=prcomp(data_variasichamber[, -1])
> summary(pca_data)
Importance of components:
              PC1      PC2      PC3      PC4      PC5      PC6      PC7      PC8
Standard deviation  0.5906 0.2778 0.20863 0.17418 0.12794 0.09697 0.04642 0.02148
Proportion of Variance 0.6603 0.1461 0.08241 0.05744 0.03099 0.01780 0.00408 0.00087
Cumulative Proportion 0.6603 0.8064 0.88882 0.94625 0.97724 0.99505 0.99913 1.00000
> datanew=data.frame(data_variasichamber[, -1])
> datanew=cov(data_variasichamber[, -1])
> cov(datanew)
              MQ 136      MQ 135      MQ 3      MQ 6      MQ 7
MQ 136 5.940149e-04 2.923449e-04 1.535075e-04 0.0005959874 2.518201e-05
MQ 135 2.923449e-04 1.558374e-04 9.510343e-05 0.0003057848 1.472486e-05
MQ 3 1.535075e-04 9.510343e-05 1.292824e-04 0.0002915988 1.663138e-05
MQ 6 5.959874e-04 3.057848e-04 2.915988e-04 0.0010588169 1.377988e-04
MQ 7 2.518201e-05 1.472486e-05 1.663138e-05 0.0001377988 2.906864e-04
MQ 8 3.935865e-04 1.894705e-04 1.871727e-04 0.0005358090 -1.754924e-04
MQ 9 2.181358e-04 1.096903e-04 1.608398e-04 0.0003435837 -2.989291e-04
MQ 2 2.172287e-04 1.094951e-04 4.676497e-05 0.0002037988 -5.525740e-05
              MQ 8      MQ 9      MQ 2
MQ 136 0.0003935865 0.0002181358 2.172287e-04
MQ 135 0.0001894705 0.0001096903 1.094951e-04
MQ 3 0.0001871727 0.0001608398 4.676497e-05
MQ 6 0.0005358090 0.0003435837 2.037988e-04
MQ 7 -0.0001754924 -0.0002989291 -5.525740e-05
MQ 8 0.0005603456 0.0005351648 1.661651e-04
MQ 9 0.0005351648 0.0006162284 1.292948e-04
MQ 2 0.0001661651 0.0001292948 1.059755e-04
```

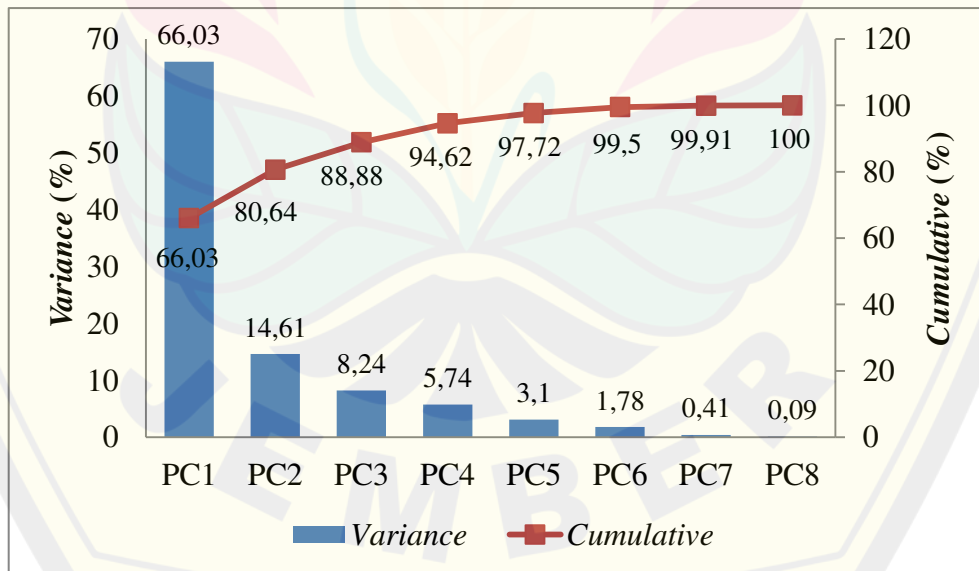
```

> eigen(datanew)
eigen() decomposition
$values
[1] 0.3487532264 0.0771803689 0.0435279700 0.0303372227 0.0163681591 0.0094034795
[7] 0.0021551000 0.0004612805

$vectors
      [,1]      [,2]      [,3]      [,4]      [,5]      [,6]
[1,] -0.4575517 -0.17112970 0.63544233 -0.145777907 -0.29469525 -0.18358204
[2,] -0.2892557 -0.11253114 0.31312353 0.216644049 0.30117795 -0.23137223
[3,] -0.2885909 -0.04089173 -0.18954080 0.618070542 0.30132278 -0.40314953
[4,] -0.5484925 -0.27870231 -0.53029870 -0.538942858 0.20661470 -0.05730977
[5,] -0.1277889 -0.59386235 -0.19492933 0.451100000 -0.38148368 0.46570296
[6,] -0.3990046 0.36295429 -0.04628497 -0.008162214 -0.53824045 0.03979519
[7,] -0.3222190 0.62758042 -0.18698181 0.232919763 0.01853167 0.25163685
[8,] -0.2085403 0.02094698 0.32545712 -0.039167734 0.50337411 0.68203120
      [,7]      [,8]
[1,] -0.412195014 -0.2141741
[2,] 0.760442867 -0.1901900
[3,] -0.375758526 0.3202917
[4,] 0.007384168 -0.0614520
[5,] 0.070885741 -0.1485767
[6,] 0.292303733 0.5745630
[7,] -0.095729678 -0.5833311
[8,] -0.104606347 0.3451394

> autoplot(prcomp(data_variasichamber[, -1]), data=data_variasichamber, colour="Desain")
    
```

Analisis PCA yang Menunjukkan nilai %Varians, dan nilai %Kumulatif pada variasi chamber 1, 2, 3, dan 4.



Lampiran 4.8 Nilai Jarak Euclidean

- a. Nilai jarak
- Euclidean Chamber 1 Sidomulyo dan Chamber 1 Bangsalsari*

Koordinat (x, y)	
<i>Chamber 1 Sidomulyo</i>	<i>Chamber 1 Bangsalsari</i>
(-0,21; -0,01)	(-0,12; -0,13)
(-0,22; 0,02)	(-0,125; -0,15)
(-0,245; -0,03)	(-0,14; -0,16)
(-0,245; -0,04)	(-0,14; -0,16)
(-0,24; -0,045)	(-0,13; -0,017)

Titik Pusat (x_1, y_1) *Chamber 1 Sidomulyo* = (-0,232; -0,021)Titik Pusat (x_2, y_2) *Chamber 1 Bangsalsari* = (-0,131; -0,154)

$$\begin{aligned}
 d(x,y) &= \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \\
 &= \sqrt{(-0,232 - (-0,131))^2 + (-0,021 - (-0,154))^2} \\
 &= \sqrt{(-0,101)^2 + (0,133)^2} \\
 &= \sqrt{0,010201 + 0,017689} \\
 &= \sqrt{0,02789} \\
 &= 0,17
 \end{aligned}$$

- b. Nilai jarak
- Euclidean Chamber 2 Sidomulyo dan Chamber 2 Bangsalsari*

Koordinat (x, y)	
<i>Chamber 2 Sidomulyo</i>	<i>Chamber 2 Bangsalsari</i>
(-0,01; -0,05)	(-0,065; -0,105)
(-0,015; -0,05)	(-0,07; -0,14)
(-0,02; -0,05)	(-0,07; -0,14)
(-0,015; -0,06)	(-0,075; -0,17)
(-0,015; -0,055)	(-0,075; -0,15)

Titik Pusat (x_1, y_1) *Chamber 2 Sidomulyo* = (-0,015; -0,053)Titik Pusat (x_2, y_2) *Chamber 2 Bangsalsari* = (-0,071; -0,141)

$$\begin{aligned}
 d(x,y) &= \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \\
 &= \sqrt{(-0,015 - (-0,071))^2 + (-0,053 - (-0,141))^2} \\
 &= \sqrt{(0,056)^2 + (0,088)^2} \\
 &= \sqrt{(3,136 \times 10^{-3}) + (7,744 \times 10^{-3})}
 \end{aligned}$$

$$= \sqrt{0,01088}$$

$$= 0,10$$

- c. Nilai jarak *Euclidean Chamber 3 Sidomulyo dan Chamber 3 Bangsalsari*

Koordinat (x , y)	
<i>Chamber 3 Sidomulyo</i>	<i>Chamber 3 Bangsalsari</i>
(0; 0,03)	(-0,06; 0,35)
(0,01; 0,05)	(-0,05; 0,36)
(0,02; 0,05)	(-0,045; 0,37)
(0,025; 0,04)	(-0,06; 0,395)
(0,03; 0,05)	(-0,055; 0,395)

Titik Pusat (x_1, y_1) *Chamber 3 Sidomulyo* = (0,017; 0,044)

Titik Pusat (x_2, y_2) *Chamber 3 Bangsalsari* = (-0,054; 0,374)

$$\begin{aligned}
 d(x,y) &= \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \\
 &= \sqrt{(0,017 - (-0,054))^2 + (0,044 - 0,374)^2} \\
 &= \sqrt{(0,071)^2 + (-0,33)^2} \\
 &= \sqrt{5,041 \times 10^{-3} + 0,1089} \\
 &= \sqrt{0,113941} \\
 &= 0,34
 \end{aligned}$$

- d. Nilai jarak *Euclidean Chamber 4 Sidomulyo dan Chamber 4 Bangsalsari*

Koordinat (x , y)	
<i>Chamber 4 Sidomulyo</i>	<i>Chamber 4 Bangsalsari</i>
(0,22; 0,02)	(0,255; -0,085)
(0,22; 0,02)	(0,26; -0,085)
(0,22; 0,02)	(0,26; -0,08)
(0,225; 0,02)	(0,265; -0,085)
(0,23; 0,02)	(0,255; -0,09)

Titik Pusat (x_1, y_1) *Chamber 4 Sidomulyo* = (0,223; 0,02)

Titik Pusat (x_2, y_2) *Chamber 4 Bangsalsari* = (0,259; -0,085)

$$\begin{aligned}
 d(x,y) &= \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \\
 &= \sqrt{(0,223 - 0,259)^2 + (0,02 - (-0,085))^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \sqrt{(-0,036)^2 + (0,105)^2} \\ &= \sqrt{1,296 \times 10^{-3} + 0,011025} \\ &= \sqrt{0,012321} \\ &= 0,11 \end{aligned}$$

