



**SENSOR GAS ARRAY PANi-HCl, PPy-HCl, PANi-GO, PPy-GO,  
PVA-GO, PVAc-GO, TAPIOKA-GO DAN AKRILIK-GO UNTUK  
IDENTIFIKASI AROMA KOPI ROBUSTA**

**SKRIPSI**

**Oleh**

**Maria Margaretha Nandra Novena  
181810301053**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
KIMIA  
JEMBER  
2024**



**SENSOR GAS ARRAY PANi-HCl, PPy-HCl, PANi-GO, PPy-GO,  
PVA-GO, PVAc-GO, TAPIOKA-GO DAN AKRILIK-GO UNTUK  
IDENTIFIKASI AROMA KOPI ROBUSTA**

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada  
program studi Kimia*

**SKRIPSI**

**Oleh**

**Maria Margaretha Nandra Novena  
181810301053**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
KIMIA  
JEMBER  
2024**

## PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Tuhan yang maha esa, dengan ini saya persembahkan skripsi ini kepada :

1. Orangtua saya tecinta, Papa Nanang dan Mama Endra sebagai bentuk ucapan terimakasih tak terhingga atas segala doa, motivasi, semangat serta pengorbanan sampai saat ini dan doa selalu demi kebaikan masa depan saya.
2. Kakak-kakak saya tercinta, Vince Ellyssabeth, Anastasia Maria dan Fransisca Asteria yang telah memberi bantuan, dukungan, semangat serta motivasi di setiap saat.
3. Adik-Adik saya tercinta, Putri Theresia, Rachel Natalia dan Gabriel Putra yang telah memberikan semangat pada saya.
4. Sahabat-sahabat saya Dhanti, Titis, Reyka, Pristi dan Nadya yang selalu memberikan semangat, doa serta dukungan dari jauh.
5. Teman-teman saya tercinta, Ferdian, Lina, Mala, Frega, Heppy, Ari, Ica, Afi, Diana dan Yosa terimakasih banyak karna telah menjadi keluarga saya di Jember yang telah memberi banyak bantuan serta dukungan kepada saya.
6. Almamater Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
7. Semua pihak yang telah membantu dan berkontribusi yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu.

**MOTTO**

*“Mintalah, maka akan diberikan kepadamu; carilah, maka kamu akan mendapatkan; ketoklah, maka pintu akan dibukakan bagimu.”*

(Matius 7:7-8)

*“Karena masa depan sungguh ada, dan harapanmu tidak akan hilang.”*

(Amsal 28:13)



**PERNYATAAN ORISINALITAS**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Maria Margaretha Nandra Novena

NIM : 181810301053

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: *Sensor Gas Array PANi-HCl, PPy-HCl, PANi-GO, PPy-GO, PVA-GO, PVAc-GO Dan Akrilik-GO Untuk Identifikasi Aroma Kopi Robusta* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta 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, Januari 2023

Yang menyatakan,



Maria Margaretha Nandra Novena

NIM 181810301053

**HALAMAN PERSETUJUAN**

Skripsi berjudul *Sensor Gas Array PANi-HCl, PPy-HCl, PANi-GO, PPy-GO, PVA-GO, PVAc-GO Dan Akrilik-GO Untuk Identifikasi Aroma Kopi Robusta* telah diuji dan disahkan Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada:

Hari, tanggal :

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

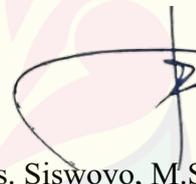
**Tim Penguji:**

Ketua,



Yeni Maulidah Muflihah, S.Si., M.Si., Ph.D  
NIP. 198008302006042002

Anggota I,



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

Anggota II,



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

Anggota III,



Tanti Haryati, S.Si., M.Si.  
NIP. 198010291005012002

**ABSTRACT**

*A gas sensor is a device used to detect the quantity of gas by capturing analog gas signals and then converting them into electrical signals. Many gas sensors developed today use conductive polymer material as the active layer on the sensor. Gas sensors that use conductive polymer materials interact directly with the analyte gas to produce changes in properties that are then measured in the form of current strength, resistance, and potential difference. Conductive polymer gas sensors can be assembled into a sensor array to measure coffee vapor from Gunitir, Sidomulyo, Garahan, and Ledokombo plantation. The conductive polymer gas sensors used are PANi-HCl, PPy-HCl, PANi-GO, PPy-GO, PVA-GO, PVAc-GO, Tapioca-GO, and Acrylic-GO. The results showed that each sensor had a repeatability value of <5%. Six sensors perform well during four weeks of use, and the other two provide good performance during three weeks of use. The eight sensors arranged in an array form different response patterns from each coffee sample. The results of the PCA analysis show that the four samples are in different quotients with a total PC value of 87.583%, a PC1 value of 59.41%, and a PC2 of 28.17%.*

**Keywords :** *Gas Sensors, Array Sensors, Polymer Conductive*

## RINGKASAN

**Sensor Gas *Array* PANi-HCl, PPy-HCl, PANi-GO, PPy-GO, PVA-GO, PVAc-GO, TAPIOKA-GO Dan AKRILIK-GO Untuk Identifikasi Aroma Kopi Robusta**; 32 Halaman; Maria Margaretha Nandra Novena; 181810301053.

Sensor gas merupakan alat pendeteksi kuantitas gas yang bekerja dengan cara menangkap sinyal analog gas lalu merubahnya menjadi sinyal elektronik dalam bentuk sinyal listrik. Sensor gas memiliki 3 jenis yang berbeda berdasarkan material penyusunnya yaitu oksida logam, polimer konduktif, dan logam katalik. Material penyusun yang saat ini banyak dikembangkan adalah polimer konduktif. Sensor gas berbasis polimer konduktif memiliki sensitivitasnya yang tinggi dan waktu respon singkat. Konduktivitas dari sensor gas berbasis polimer konduktif dapat ditingkatkan dengan menambahkan dopping, salah satu dopping yang dapat digunakan adalah Grafena Oksida (GO). GO memiliki sensitivitas yang tinggi serta sifat listrik yang sangat baik. Berdasarkan sifat listrik yang baik tersebut, GO dapat digunakan sebagai material sensor yang menjanjikan.

Sensor gas polimer konduktif dapat dirangkai menjadi sensor *array* dengan susunan PANi-HCl, PPy-HCl, PANi-GO, PPy-GO, PVA-GO, PVAc-GO, Tapioka-GO dan Akrilik-GO. Rangkaian sensor gas polimer konduktif yang disusun secara *array* digunakan untuk mengukur uap kopi dari kebun Gunitir, Sidomulyo, Garahan dan Ledokombo. Sensor tersebut disusun secara planar kedalam ruang *chamber* yang dibuat dari bahan akrilik. Kedelapan sensor yang tersusun dalam *chamber* dihubungkan langsung dengan alat pengondisi sinyal yang akan menghasilkan tegangan sehingga dapat terbaca oleh Arduino Nano. Pengukuran dilakukan sebanyak 10 kali pengulangan secara berturut-turut, dimana setiap pengukuran diambil sebanyak 150 data uap air sebagai *baseline*, 300 data uap kopi, dan 150 data *recovery baseline*. Data yang dihasilkan dari proses pengukuran berupa nilai tegangan dari masing-masing sensor. Nilai tegangan yang diperoleh tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan pola respon, waktu respon, repeatabilitas, reproduibilitas dan PCA.

Hasil yang diperoleh dari pengukuran menunjukkan delapan sensor yang disusun secara *array* mampu membedakan aroma kopi dari setiap sampel kopi yang digunakan. Berdasarkan pola respon yang dihasilkan pada pengukuran serta hasil dari analisis PCA menunjukkan keempat sampel kopi tersebut berada pada kuadran yang berbeda, meskipun letak sampel kopi Ledokombo dan Garahan berada pada kuadran yang hampir sama namun keduanya tetap dapat dibedakan dengan jelas. Setiap sensor memiliki waktu respon yang cukup baik yaitu setiap sensornya memiliki waktu respon dibawah 50 detik. Nilai repeatabilitas semua sensor memiliki RSD dibawah 5% namun sensor PVA-GO pada kopi Gunitir memiliki nilai RSD diatas 5%. Nilai reproduksibilitas kedelapan sensor pada minggu pertama sampai dengan minggu ketiga memiliki nilai RSD dibawah 5%, sedangkan pada minggu ke 4 terdapat dua sensor yaitu PANi-GO dan PVAc-GO yang memiliki RSD sebesar 5,9% dan 5,3%.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sensor array yang tersusun dari sensor PANi-HCl, PPy-HCl, PANi-GO, PPy-GO, PVA-GO, PVAc-GO, Tapioka-GO dan Akrilik-GO dapat membedakan aroma kopi dari kebun Gunitir, Sidomulyo, Garahan dan Ledokombo berdasarkan pola respon dan hasil PCA. Waktu respon dan nilai repeatabilitas membuktikan bahwa kinerja dari masing-masing sensor pada sensor array cukup baik. Kinerja dari sensor array akan menurun ketika digunakan secara berkala dalam jangka waktu satu bulan.

## PRAKATA

Puji Syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Sensor Gas Array PANi-HCl, PPy-HCl, PANi-GO, PPy-GO, PVA-GO, PVAc-GO Dan Akrilik-GO Untuk Identifikasi Aroma Kopi Robusta” dengan baik.

Penyelesaian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, saya menyampaikan terima kasih atas semua dukungan dan bantuan kepada :

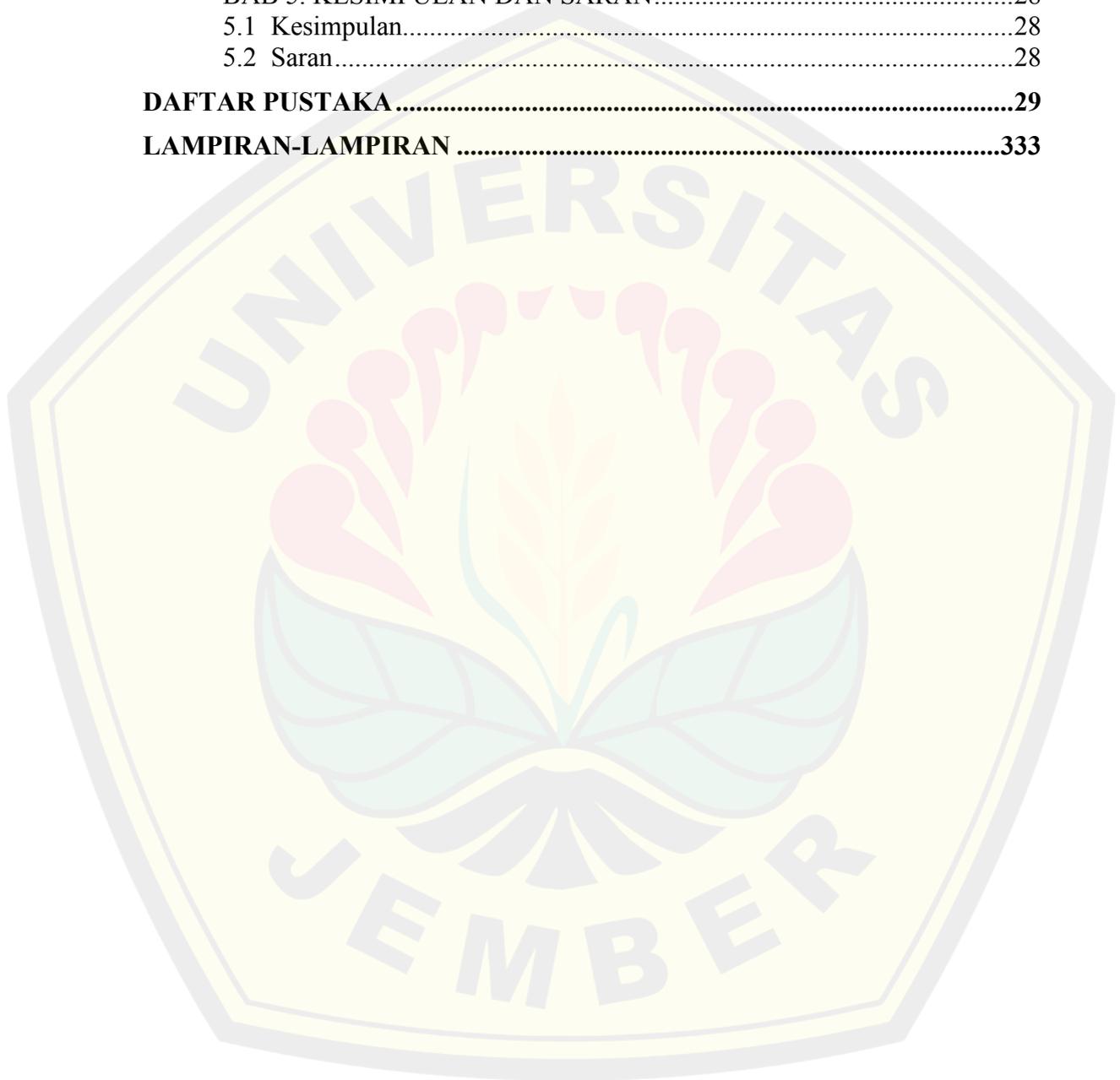
1. Bapak Drs. Sjaifullah, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
2. Ibu Dr. Anak Agung Istri Ratnadewi S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
3. Ibu Yeni Maulidah Muflihah, S.Si., M.Si.Ph.D selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Drs. Siswoyo M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah banyak memberikan bimbingan, diskusi, arahan, saran, nasehat dan motivasi dalam proses penyelesaian skripsi ini.
4. Ibu Asnawati, S.Si., M.Si. dan Ibu Tanti Haryati, S.Si., M.Si. selaku Dosen Penguji yang telah meluangkan waktunya untuk menguji, memberikan kritik dan saran, serta mengevaluasi untuk penyempurnaan skripsi ini.
5. Ibu Dwi Indarti, S.Si., M.Si. sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dan saran selama masa perkuliahan.
6. Teknisi laboratorium Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember yang telah membantu selama penelitian berlangsung.
7. Semua pihak yang telah membantu dan berkontribusi selama proses penyusunan skripsi ini yang namanya tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan kesalahan. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat, wawasan, dan pengetahuan lebih luas bagi pembacanya.

**DAFTAR ISI**

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN ORISINALITAS.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>PRAKATA.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Penelitian .....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Sensor Gas.....	5
2.1.1. Sensor Gas .....	5
2.1.2 Jenis Sensor Gas .....	5
2.1.3 Polimer Konduktif.....	8
2.2 Graphene Oxide.....	10
2.3 Sensor Gas Array .....	11
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>13</b>
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	13
3.2 Prosedur Penelitian.....	13
3.2.1 Pembuatan Sensor .....	13
3.2.2 Susunan Sensor.....	14
3.2.3 Desain Alat Penelitian .....	15
3.3 Metode Analisis.....	15

3.4 Desain Penelitian.....	16
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	17
4.1 Karakteristik Sensor <i>Array</i> .....	17
4.1.1 Waktu Respon .....	17
4.1.2 Uji Repeatabilitas .....	20
4.1.3 Reprodusibilitas.....	21
4.2 Profil Respon Sensor <i>Array</i> .....	23
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	28
5.1 Kesimpulan.....	28
5.2 Saran.....	28
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>29</b>
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN .....</b>	<b>333</b>



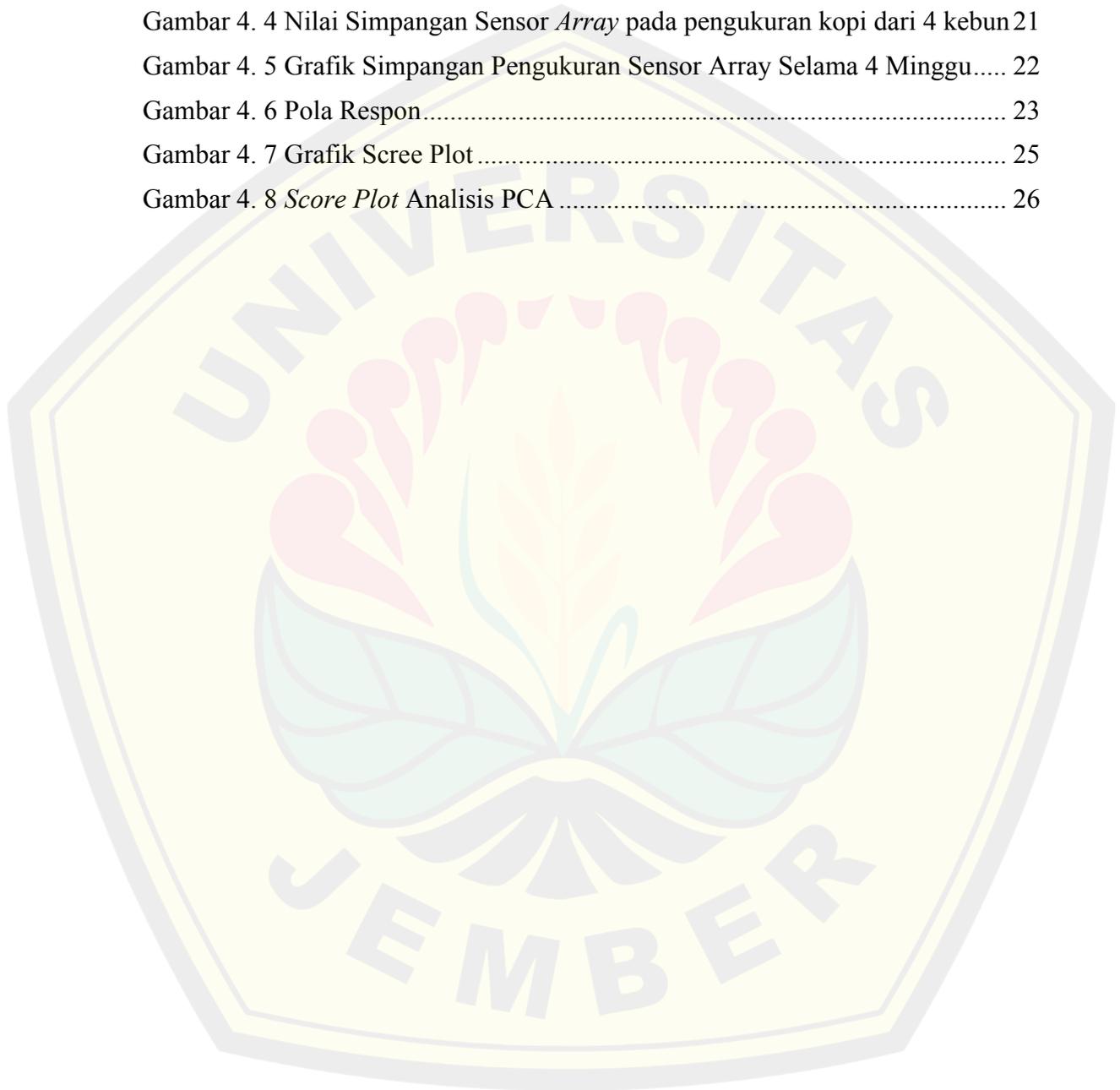
**DAFTAR TABEL**

Tabel 4. 1 Nilai Waktu Respon.....	20
Tabel 4. 2 <i>Eigenvalues</i> .....	25
Tabel 4. 3 <i>Eigenvectors</i> .....	26



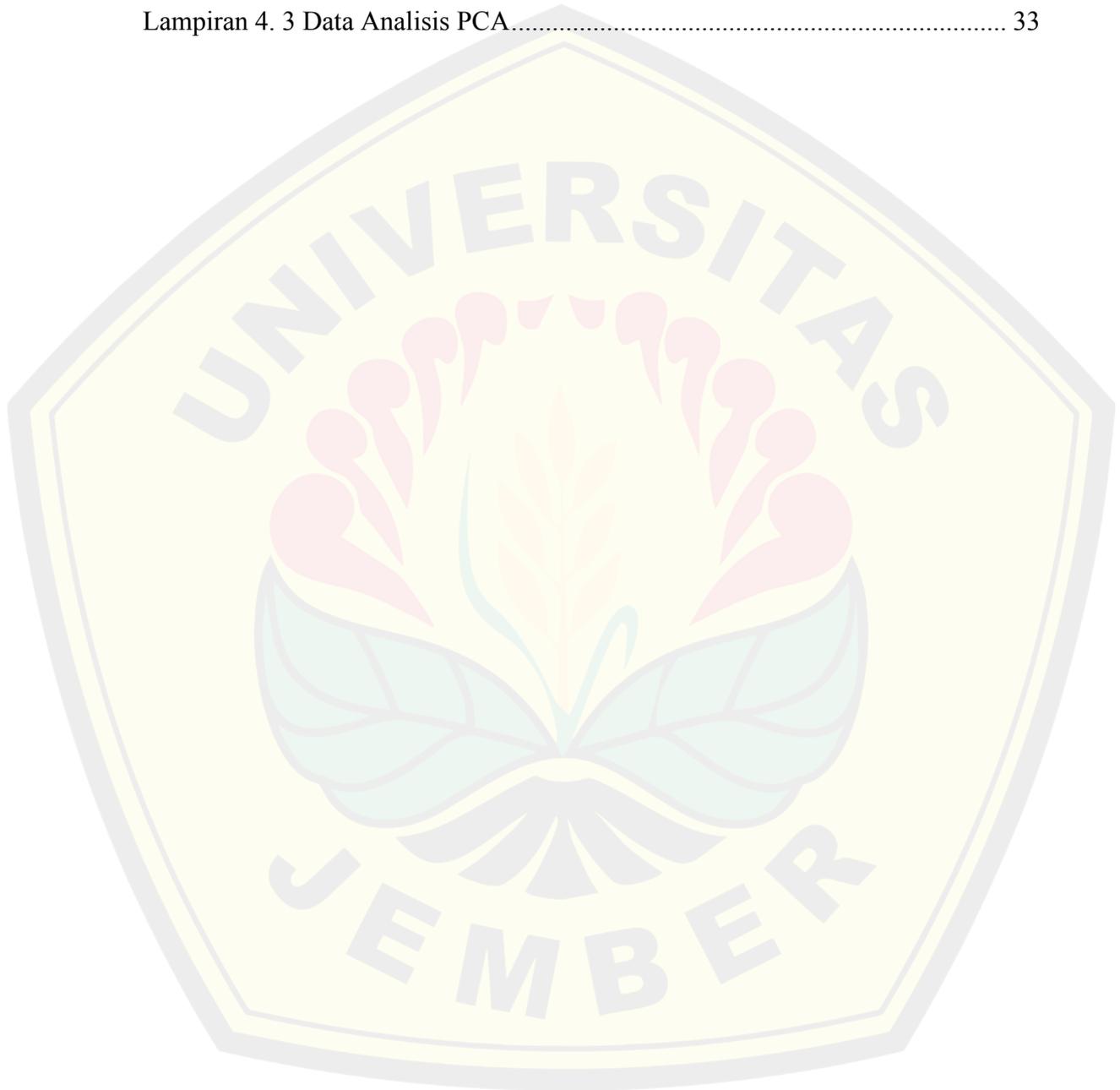
**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 4. 1 Rangkaian Alat Pengukuran.....	17
Gambar 4. 2 Respon Sensor Array Pada Kopi Sidomulyo .....	18
Gambar 4. 3 Grafik Waktu Respon.....	19
Gambar 4. 4 Nilai Simpangan Sensor <i>Array</i> pada pengukuran kopi dari 4 kebun 21	
Gambar 4. 5 Grafik Simpangan Pengukuran Sensor Array Selama 4 Minggu.....	22
Gambar 4. 6 Pola Respon.....	23
Gambar 4. 7 Grafik Scree Plot .....	25
Gambar 4. 8 <i>Score Plot</i> Analisis PCA .....	26



**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 3. 1 Pembuatan Elektroda dan <i>Chamber</i> .....	33
Lampiran 4. 1 Data selisih Tegangan <i>Baseline</i> dan Uap Kopi .....	33
Lampiran 4. 2 Data Pengukuran Reprodusibilitas Pada 4 Kebun .....	33
Lampiran 4. 3 Data Analisis PCA.....	33



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sensor gas merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi kuantitas gas menjadi besaran elektronik dengan cara menangkap sinyal analog gas lalu merubahnya menjadi sinyal elektronik dalam bentuk sinyal listrik. Sensor gas memiliki 3 jenis yang berbeda berdasarkan material penyusunnya yaitu oksida logam, polimer konduktif, dan logam katalik (Hasibuan, 2017). Sensor gas yang telah mengalami banyak perkembangan adalah sensor oksida logam. Zamiri (2020), mengatakan bahwa sensor ini memiliki sensitivitas dan waktu respons yang sangat baik. Namun, saat pengukuran pada kondisi kelembapan yang tinggi sensor tersebut mengalami penurunan sensitivitas karna adanya reaksi antara molekul air dan oksigen pada permukaan sensor (Wang *et al*, 2010). Polimer konduktif menjadi bahan alternatif lain dalam pembuatan sensor gas. Sensor gas berbasis polimer konduktif memiliki kelebihan yaitu sensitivitasnya yang tinggi, waktu respon singkat, dan fleksible (Salsabila, 2023). Polimer konduktif memiliki keunggulan pada kemampuannya berproses serta memiliki nilai sensitivitas tinggi karena tidak terpengaruh oleh kelembapan (Park *et al.*, 2018).

Aplikasi sensor gas pada umumnya menggunakan sistem array. Sensor gas *array* adalah hasil gabungan dari beberapa sensor gas untuk mendeteksi suatu gas atau aroma pada suatu sampel berdasarkan pola responnya. Sensor gas *array* merupakan metode jaringan saraf tiruan yang memiliki tiga lapisan yaitu lapisan input, lapisan tersembunyi (hidden), dan lapisan output. Setiap lapisan yang terdapat pada sensor gas *array* disusun dari beberapa unit serta memiliki tugasnya masing-masing dalam proses pendeteksian gas. Sensor gas *array* tersusun dari sensor gas yang sejenis namun beda tipe, setiap tipenya memiliki fungsi yang berbeda-beda sehingga mampu untuk mendeteksi beberapa gas sekaligus dalam satu inputan. Sensor gas array yang telah banyak berkembang yaitu *Taguchi Gas Sensors* (TGS) dan MQ. Penelitian kali ini menggunakan sensor gas *array* karena memiliki kelebihan yaitu dapat memperbanyak data dalam setiap pengukuran

sampel karena menggunakan beberapa sensor gas secara bersamaan (Wilson dan Baietto, 2009)

Polimer konduktif yang telah digunakan pada penelitian sebelumnya adalah PANi (polianilin), PPy (polipirol), PAA (poliakrilat), PVA (polivinil alkohol) dan PVAc (polivinil asetat). PANi merupakan salah satu polimer konduktif dengan tingkat stabilitas termal yang baik. Sensor PANi telah banyak digunakan untuk membedakan selektivitas serta kepekaan pada berbagai analit gas. Sensor PANi berfungsi untuk mendeteksi gas  $\text{NH}_3$  (Yessya, 2023). Selanjutnya yaitu PPy, sensor PPy memiliki stabilitas yang baik serta memiliki sifat mekanik yang kuat. Sensor PPy juga telah banyak dikembangkan untuk mendeteksi beberapa jenis gas, diantaranya adalah  $\text{NO}_2$ , CO,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  dan  $\text{O}_2$  (Zein, 2023). Penelitian mengenai PAA sebagai bahan pengindraan untuk mendeteksi gas amonia telah dilakukan oleh Ding *et al.*, (2005) berdasarkan penelitian tersebut dapat diketahui bahwa sensor gas dengan material PAA memiliki sensitivitas dan stabilitas yang cukup tinggi sehingga PAA memiliki potensial sebagai sensor gas. Polivinil alkohol (PVA) merupakan polimer sintesis yang larut dalam air namun tidak larut dalam pelarut organik dan jarang larut dalam etanol. PVA memiliki pola kelarutan yang mudah terdegradasi. Polimer ini dikenal sebagai "polimer hijau" karena dapat dengan mudah dicampur dengan berbagai bahan alami sehingga dapat memperluas jangkauan penerapannya (Barui, 2018). Menurut Zhang *et al.*, (2020) PVA dapat digunakan sebagai pendukung untuk film AuAgNCs-CDs untuk mendeteksi gas  $\text{H}_2\text{S}$  diudara.

Grafena Oksida (GO) merupakan salah satu material yang digunakan sebagai doping pada pembuatan sensor gas. GO memiliki luas permukaan yang cukup besar sehingga memperbanyak adanya interaksi dengan molekul targetnya, selain itu material ini memiliki sensitivitas yang tinggi serta sifat listrik yang sangat baik. Berdasarkan sifat listrik yang baik tersebut, GO dapat digunakan sebagai material sensor yang menjanjikan (Wang *et al.*, 2012). Sensor GO dapat dioperasikan pada suhu kamar dan di bawah kondisi sekitarnya, sehingga GO sangat cocok jika dipasangkan dengan beberapa jenis polimer konduktif sebagai material atau media pada sensor gas (Rahayu & Amalia, 2020).

Penelitian mengenai sensor gas *array* telah dilakukan oleh Rosalita (2019), dengan menggunakan 5 jenis sensor gas berbasis oksida logam yaitu sensor MQ-135, MQ-2, MQ-3, MQ-6, dan MQ-7 yang disusun secara *array*. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa sensor gas yang digunakan mengalami penurunan kinerja dan hanya mampu digunakan dalam jangka waktu selama 4 minggu sehingga kinerjanya menurun ketika digunakan secara berkala. Penelitian mengenai sensor gas juga dilakukan oleh Menik (2022), dimana menggunakan sensor gas yang lebih kompleks yaitu 8 jenis sensor gas yaitu MQ-136, MQ-135, MQ-3, MQ-6, MQ-7, MQ-8, MQ-9, dan MQ-2. Penelitian tersebut menunjukkan pola respon yang kurang baik terhadap uap air karena dapat menurunkan tegangan sensor. Berdasarkan kedua penelitian tersebut mendorong adanya penelitian baru mengenai jenis sensor gas yang digunakan dengan harapan memiliki reproduibilitas yang lebih baik ketika dilakukan modifikasi pada sensor gas. Yesiana *et al.*, (2018) telah melaporkan penelitian mengenai uji aroma kopi dengan menggunakan 8 sensor gas diantaranya TGS 812, TGS 822, TGS 2600, TGS 826, TGS 2611, TGS 2620, TGS 2612, TGS 2602. Hasil yang didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa *electronic nose* dengan menggunakan 8 sensor gas dapat membedakan aroma kopi *robusta* dengan variasi asal biji kopi, yaitu *robusta* Jawa dan *robusta* Sumatera.

Berdasarkan hasil penelitian diatas, meskipun sensor gas berbasis oksida logam mampu mendeteksi gas, namun semikonduktor oksida logam membutuhkan suhu operasi yang tinggi serta memiliki kekurangan selektivitas yang buruk dan sensitivitas rendah untuk konsentrasi gas yang sangat rendah. Penelitian ini mencoba untuk menyusun delapan jenis sensor yang berbasis *graphene oxide* dan polimer konduktif, yaitu PANi-HCl, PPy-HCl, PANi-GO, PPy-GO, PVA-GO, PVAc-GO, Tapioka-GO dan Acrylic-GO. Delapan sensor tersebut disusun secara *array* untuk mengidentifikasi aroma kopi *robusta*. Dari penelitian ini diharapkan sensor gas *array* yang dikembangkan mampu mengidentifikasi aroma kopi dari kebun yang berbeda. Berisi penjelasan berupa alasan penting dan menarik serta perlunya dilakukan penelitian dari masalah yang menjadi topik penelitian.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik sensor array dari elektroda PANi-HCl, PPy-HCl, PANi-GO, PPy-GO, PVA-GO, PVAc-GO, Tapioka-GO dan Akrilik-GO pada uap air, uap kopi, dan udara kering?
2. Bagaimana profil respon sensor array dalam mengidentifikasi aroma kopi robusta dari kebun kebun kopi Gunitir, Garahan, Sidomulyo, Ledokombo?

## 1.3 Batasan Penelitian

Batasan penelitian pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sampel yang digunakan adalah kopi robusta dengan mengesampingkan waktu petik dari sampel kopi
2. Pengukuran uap kopi menggunakan suhu dan kelembapan ruangan pada saat pengukuran dilakukan
3. Software untuk analisis dan mengolah data menggunakan software *Sensichem*

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui karakteristik sensor array dari elektroda PANi-HCl, PPy-HCl, PANi-GO, PPy-GO, PVA-GO, PVAc-GO, Tapioka-GO dan Akrilik-GO pada uap air, uap kopi, dan udara kering.
2. Mengetahui kemampuan sensor array dalam mengidentifikasi aroma kopi robusta dari kebun Gunitir, Garahan, Sidomulyo, Ledokombo

## 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan akan memberikan manfaat antarlain mengetahui karakteristik respon sensor gas berbasis polimer konduktif yang disusun secara array untuk mendeteksi uap uap air, uap kopi robusta, dan udara kering. Respon yang didapat diharapkan mampu menjadi kajian terhadap penggunaan sensor gas dengan bahan dasar polimer konduktif.

## BAB 2. TINJAUAN TEORI

### 2.1 Sensor Gas

#### 2.1.1. Sensor Gas

Sensor didefinisikan sebagai perangkat yang dapat menangkap informasi kimia atau fisika yang kemudian diubah menjadi sinyal elektrik (arus, tegangan, impedansi/konduktansi, atau frekuensi). Informasi kimia misalnya konsentrasi dari bahan kimia baik berupa cairan maupun asap. Sementara informasi fisika yang dapat menstimulus sensor sehingga menghasilkan sinyal elektrik adalah temperatur, tekanan, gaya, medan magnet cahaya, pergerakan dan lain-lain (Persada *et al.*, 2019).

Sensor gas dapat diklasifikasikan berdasarkan prinsip kerjanya, yaitu *hemiresistive sensors*, *mass-sensitive sensors*, *calorimetric sensors*, dan *magnetic optical device sensors* korotcenkov (2014). Jenis sensor gas yang paling sering digunakan adalah *chemiresistive* karna bentuknya yang sederhana serta memerlukan biaya dan pengoprasian yang rendah. Sensor *chemiresistive* adalah suatu perangkat kimia yang mampu merubah informasi kimia dari suatu analit menjadi bentuk keluaran sinyal seperti nilai konduktivitas, tahanan, dan beda potensial (Patel *et al.*, 2014). Sensor *chemiresistive* sering digunakan untuk menentukan konsentrasi senyawa atau ion zat tertentu secara selektif (McDonagh *et al.*, 2008). Sensor gas *chemiresistive* bekerja dengan cara mengukur nilai resistensi yang dihasilkan dari interaksi material sensing terhadap suatu analit, sehingga menghasilkan perubahan seperti kenaikan atau penurunan nilai resistansi. Kenaikan atau penurunan nilai resistansi sensor dipengaruhi oleh konsentrasi analit yang ada didalamnya, semakin tinggi konsentrasi analit pada suatu sampel gas nilai resistansinya akan semakin menurun, dan sebaliknya. Nilai resistansi berbanding terbalik dengan nilai konduktivitas. Semakin kecil nilai resistansi, maka nilai konduktivitas yang dihasilkan semakin besar (Nazemi *et al.*, 2019).

#### 2.1.2 Jenis Sensor Gas

Penelitian kali ini menggunakan 8 jenis sensor berbasis graphene oxide dan sensor berbasis polimer konduktif. Sensor berbasis graphene oxide yang digunakan

adalah PANi-GO, PPy-GO, PVA-GO, PVAc-GO, Tapioka-GO dan Akrilik-GO. Sensor berbasis polimer konduktif yang digunakan adalah PANi-HCl, PPy-HCl.

a. PANi-HCl

Sensor PANi-HCl dihasilkan dari proses polimerisasi anilin dengan *doping* HCl yang dilakukan secara kimiawi menggunakan metode oksidasi Chomari & Kusumawati (2012). Sensor PANi-HCl sangat stabil di bawah kondisi sekitar dan juga memiliki berbagai sifat, seperti konduktivitas listrik yang tinggi, reversibilitas redoks dan kemudahan sintesis (Alexandra, 2011). Sensor gas ini mampu digunakan untuk mendeteksi gas NH<sub>3</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, CHCl<sub>3</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CH<sub>3</sub>. Penelitian menggunakan sensor PANi-HCl pada pengukuran uap kopi sudah pernah dilakukan oleh Fitri (2023), hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa sensor PANi-HCl mampu digunakan untuk mendeteksi komponen dari uap kopi robusta.

b. PPy-HCl

Sensor PPy-HCl dapat diperoleh melalui proses sintesis dari nanokomposit polipirrol (PPy). Metode yang digunakan pada sintesis tersebut adalah polimerisasi oksidatif kimia dengan menggunakan HCl sebagai dopan. Sensor ini memiliki sensitivitas yang tinggi serta relatif stabil pada suhu kamar (Sanjay, 2015). Sensor gas ini mampu digunakan untuk mendeteksi gas NH<sub>3</sub> dan NO<sub>2</sub>. Penelitian menggunakan sensor PPy-HCl pada pengukuran uap kopi sudah pernah dilakukan oleh Fitri (2023), hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa sensor PPy-HCl mampu digunakan untuk mendeteksi komponen dari uap kopi robusta.

c. PANi-GO

Sensor PANi-GO merupakan sensor gas yang diperoleh melalui proses sintesis dari komposit polianilin dan *graphene oxide* menggunakan metode polimerisasi kimia. Sensor gas ini memiliki konduktivitas yang tinggi serta stabil pada suhu kamar (Yessya, 2023). Sensor gas ini mampu digunakan untuk mendeteksi gas NH<sub>3</sub> dan CO. Penelitian menggunakan sensor gas PANi-GO pada uap kopi sudah pernah dilakukan oleh Yessya (2023), penelitian tersebut menunjukkan bahwa sensor gas ini mampu digunakan untuk mendeteksi uap kopi robusta dan memiliki nilai konduktivitas sebesar  $3,3 \times 10^{-8}$  S/cm dengan komposisi optimum Anilin : GO sebesar 0,5ml : 0,2gr dan ketebalan 0,35 mm.

d. PPy-GO

Sensor PPy-GO merupakan sensor gas yang disusun dengan kombinasi polimer konduktif PPy dan GO sebagai dopan. Sensor gas ini memiliki stabilitas baik pada temperatur ruang serta memiliki sensitivitas yang tinggi pada kondisi lembab (Wang *et al.*, 2019). Sensor gas ini mampu digunakan untuk mendeteksi gas CO, H<sub>2</sub>S, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CH<sub>3</sub>. Penelitian menggunakan sensor gas PPy-GO telah dilakukan oleh Salsabila (2023) dan Aulia (2023), penelitian tersebut menunjukkan bahwa sensor gas tersebut memiliki nilai konduktivitas sebesar 0,23 nS/Cm dengan komposisi PPy : GO sebesar 0,85 g : 0,15 g dan ketebalan 0,21 mm.

e. PVA-GO

Sensor PVA-GO merupakan sensor gas yang dihasilkan dari proses pencampuran antara larutan PVA dengan serbuk GO hasil sintesis dari grafit murni. Penelitian yang telah dilakukan oleh Bittercourt (2018) menunjukkan bahwa sensor gas ini mampu digunakan untuk mendeteksi gas NH<sub>3</sub>. Sensor gas ini memiliki nilai konduktivitas yang cukup baik (Zakaria *et al.*, 2018). PVA memiliki nilai konduktivitas sebesar  $0,30 \times 10^{-4}$  S/Cm pada kondisi murni dan  $2,66 \times 10^4$  S/Cm setelah diberikan doping GO (Kusumawati *et al.*, 2023).

f. PVAc-GO

Sensor PVAc-GO merupakan sensor gas yang dihasilkan dari proses pencampuran antara larutan PVAc hasil dari proses polimerisasi monomer *vinyl-acetate* dengan serbuk GO hasil sintesis dari grafit murni. Sensor gas ini memiliki stabilitas yang sangat baik serta bertahan lama pada suhu kamar (Zhang, 2012). Khan *et al* (2019) telah melakukan penelitian menggunakan sensor gas PVAc-GO untuk mengukur kelembapan, nilai konduktivitas dari polimer PVAc sebesar  $2,3 \times 10^{-3}$  S/Cm dan sebesar  $17,7 \times 10^{-2}$  S/Cm setelah didoping menggunakan GO.

g. Akrilik-GO

Sensor Akrilik-GO merupakan sensor gas yang dihasilkan melalui proses dispersi dari serbuk GO hasil sintesis dari grafit murni dengan larutan *Polyacrylic*. Sensor gas ini memiliki nilai konduktivitas yang cukup baik dan mampu digunakan untuk mendeteksi gas NH<sub>3</sub> (Tai, 2013).

h. Tapioka-GO

Tepung tapioka merupakan polimer alami hasil ekstraksi dari akar singkong yang terdiri dari dua  $\alpha$ -*glucan* yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa memiliki struktur linier yang memberikan kekuatan mekanik pada tapioka, sedangkan amilopektin memiliki struktur bercabang yang berperan pada fleksibilitas. Tapioka telah banyak digunakan untuk membentuk pelapis dan film dengan transparansi dan fleksibilitas yang baik tanpa *plasticizer* (Kumar, 2012). Sensor gas Tapioka-GO mampu digunakan untuk mendeteksi gas  $\text{NH}_3$ ,  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$  dan  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$  (Peregrino, 2020).

### 2.1.3 Polimer Konduktif

Beberapa jenis polimer memiliki daya hantar listrik yang mirip dengan senyawa logam, seperti polipirole, poliasetilena, dan polianilina. Prinsip kerja dari polimer konduktif adalah atom karbon mengikat atom karbon lain dengan ikatan ganda dan tunggal secara berselang-seling sehingga mempengaruhi sifat konduktif pada polimer terkonjugasi. Hal ini dikarenakan adanya ikatan rangkap terkonjugasi pada rantai polimer tersebut. Penambahan senyawa sebagai doping pada polimer konduktif akan mengubah konduktivitas dari polimer semikonduktif menjadi konduktif yang disebabkan oleh perubahan kerapatan elektron pada ikatan  $\pi$  atau  $\pi^*$  polimer terkonjugasi (Berlian *et al.*, 2011). Polimer konduktif dapat digunakan sebagai material pada pembuatan sensor sebagai lapisan aktif pada sensor tersebut. Sensor gas yang menggunakan material polimer konduktif bekerja dengan cara berinteraksi secara langsung dengan gas analit sehingga menghasilkan perubahan sifat yang kemudian diukur dalam bentuk kuat arus, ketahanan, serta beda potensial yang sebanding dengan konsentrasi analit pada sampel gas (Bai dan Shi, 2007).

#### A. Polianilin

Polianilin (PANi) merupakan molekul besar yang terbentuk dari gabungan monomer Anilin ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ ) yang terikat secara kovalen. Polianilin dapat disintesis secara kimiawi maupun secara elektrokimia. Sintesis yang dilakukan secara kimiawi akan menghasilkan PANi dalam bentuk serbuk, sedangkan sintesis yang dilakukan secara elektrokimia menghasilkan PANi dalam bentuk film tipis. Sifat dari polianilin yang dihasilkan dipengaruhi oleh mekanisme serta parameter sintesis yang digunakan. Polianilin dapat disintesis menjadi beberapa bentuk non-konduktif

atau isolatifnya yang didasarkan pada level oksidasi dari polianilin tersebut. Diantaranya, basa Leukomeraldin (LB) yang tereduksi penuh, basa Emeraldin (EB) yang teroksidasi setengah, dan basa Pernigranilin (PB) yang teroksidasi penuh. Dari ketiga polianilin dalam bentuk non-konduktif, hanya polianilin EB yang dapat diubah menjadi konduktif dengan cara memberikan doping asam yang dilakukan melalui proses protonasi. Menurut Chen (1995) dopan yang biasanya digunakan untuk doping PANi adalah asam organik, dopan asam dapat menguap pada suhu kamar maupun suhu yang lebih tinggi. Dopan asam yang kerap digunakan adalah HCl, HClO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dll. (Bimantoro, 2014).

#### B. Polipirol

Polipirol (PPy) merupakan salah satu polimer konduktif yang menjanjikan karena memiliki keunggulan yaitu memiliki nilai konduktivitas listrik yang tinggi, stabilitas lingkungan yang baik serta mudah disintesis. Polimerisasi PPy dapat dengan mudah dilakukan secara kimiawi maupun elektrokimia dengan menggunakan oksidasi dari monomer pirol. PPy memiliki keunggulan dalam pengaplikasiannya pada teknologi seperti penghitung elektroda dalam elektrolit kapasitor, akuator, mikroakuator dan pemisahan membrane (Yusman, 2021).

#### C. Asam Poliakrilat

Asam Poliakrilat (PAA) merupakan jenis polimer dari monomer asam Akrilat. PAA dibuat melalui proses hidrolisis poli alkil akrilat (Molyneux, 1998). Penelitian mengenai PAA sebagai bahan pengindraan untuk mendeteksi gas amonia telah dilakukan oleh Ding *et al.*, (2005) berdasarkan penelitian tersebut dapat diketahui bahwa sensor gas dengan material PAA memiliki sensitivitas dan stabilitas yang cukup tinggi sehingga PAA memiliki potensial sebagai sensor gas.

#### D. PVA

Polivinil alkohol (PVA) merupakan polimer sintesis yang larut dalam air namun tidak larut dalam pelarut organik dan jarang larut dalam etanol. PVA memiliki pola kelarutan yang mudah terdegradasi. Polimer ini dikenal sebagai "polimer hijau" karena dapat dengan mudah dicampur dengan berbagai bahan alami sehingga dapat memperluas jangkauan penerapannya (Barui, 2018). Sarkar *et al.*, (2018) telah melakukan penelitian tentang pengembangan sensor gas PPy yang

tertanam dalam matriks PVA untuk uap etanol, amonia, toluena, kloroform, dan aseton pada suhu kamar (300 K). Berdasarkan hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa film komposit memiliki sensitivitas yang paling baik terhadap etanol. Penelitian mengenai PVA sebagai sensor gas juga dilakukan oleh Zhang *et al.*, (2020) dimana menggunakan PVA sebagai pendukung untuk film AuAgNCs-CDs untuk mendeteksi gas H<sub>2</sub>S diudara. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa PVA berhasil membedakan H<sub>2</sub>S dari gas lainnya. Sensor tersebut memiliki waktu respon yang singkat yaitu sekitar 15 detik serta memiliki stabilitas yang baik dan dapat digunakan secara terus menerus bahkan setelah 30 hari penyimpanan di udara pada suhu kamar.

#### E. PVAc

PVAc merupakan hasil polimerisasi monomer *vinyl-acetate*. Polimerisasi tersebut dapat dilakukan dengan beberapa cara antarlain polimerisasi massa, polimerisasi larutan (monomer dilarutkan dalam pelarut yang cocok sebelum terjadi polimerisasi), ataupun polimerisasi emulsi (penambahan bahan beremulsi untuk memantapkan tetapan monomer) (Rozalina, 2020). Reaksi pembentukan PVAc secara garis besar meliputi tiga tahap yaitu inisiasi, polimerisasi, dan terminasi. Inisiasi atau tahap awal dimulai dengan adanya radikal bebas (dapat berupa benzoil, hidrogen peroksida, lauroil, serta inisiator lainnya seperti persulfat) yang diikat oleh molekul vinil asetat. Selanjutnya yaitu polimerisasi yang berlangsung dengan bentuk penggabungan monomer menjadi polimer (polimerisasi) dan berlangsung terus dengan adanya gugus aktif di ujung molekul polimer tersebut. Terakhir yaitu terminasi, pada tahap ini Polimerisasi akan terhenti bila sisi reaktif dikeluarkan. Pengeluaran ujung reaktif dapat dengan menggabungkan dua ujung reaktif atau pemindahan sisi reaktif ke molekul lain (HX) (Goulding, 1983).

## 2.2 Graphene Oxide

Graphene (GO) merupakan material karbon nano 2 dimensi (2D) yang baru ditemukan dan mendapat perhatian luas karena sifatnya yang unik serta memiliki kegunaan yang beragam. Sementara itu, sebagai turunan teroksidasi dari graphene, graphene oxide (GO) memiliki bidang basal dan tepian yang berlimpah dengan berbagai gugus fungsi seperti alkohol, epoksi, dan karboksilat. Gugus fungsi yang

tersebut menyebabkan GO memiliki sensitivitas yang tinggi karena memperbesar luas permukaan dari material yang dapat mengadsorpsi gas. GO memiliki kelarutan yang baik dan memberikan peluang bagus untuk menciptakan nanokomposit hibrida berbasis GO dan aplikasi potensial mereka. Hingga saat ini, upaya besar telah dilakukan untuk mengembangkan bahan nano berbasis GO dan mengeksplorasi aplikasinya dalam biosensor, elektronik dan optoelektronik, penghantaran obat, superkapasitor, fotokatalis yang efisien, imobilisasi enzim dll (Chengzhou Zhu *et al.*, 2011).

GO dalam bidang biosensor dapat diaplikasikan pada pembuatan sensor gas yang akan berperan sebagai doping. Doping berfungsi untuk meningkatkan konduktivitas dari suatu material dengan menambahkan muatan positif maupun negatif pada rantai *backbone* polimer melalui reaksi oksidasi atau reduksi (Hou *et al.*, 2014). Doping bekerja meningkatkan nilai konduktivitas suatu material konduktif yang bersifat semi konduktor dengan cara menurunkan band gap pada pita konduksi dimana semakin kecil nilai gap nya maka konduktivitas semakin besar (Cai *et al.*, 2019).

Menurut beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa dopan yang ditambahkan pada sensor polimer konduktif menghasilkan nilai konduktivitas dan mobilitas elektron yang tinggi sehingga sensitivitas dari sensor gas tersebut meningkat. Meningkatnya nilai konduktivitas tersebut ditentukan oleh jenis dopan bergantung pada material yang digunakan. Salah satu material yang dapat dijadikan sebagai dopan dengan nilai konduktivitas tertinggi dimiliki oleh grafit (Korotcenkov, 2014).

### 2.3 Sensor Gas Array

*Sensor array* adalah seperangkat sensor yang digunakan untuk mengumpulkan informasi tentang objek yang diuji. *Sensor gas array* digunakan untuk mengubah informasi kimia mengenai campuran gas multi-komponen menjadi satu set sinyal terukur. *Sensor gas array* dapat memberikan informasi kualitatif dan kuantitatif. Hal tersebut menunjukkan kemampuan untuk mengklasifikasikan sampel kompleks yang berbeda dan untuk mengukur konsentrasi komponen ketika campuran terdiri dari beberapa konstituen (Szczurek

& Maciejewsk, 2012). Sensor gas *array* beroperasi menggunakan prinsip yaitu sinyal dari sensor semiselektif yang berbeda membentuk sinyal yang kemudian dianalisis oleh program jaringan saraf tiruan. Aroma serupa umumnya menghasilkan pola respon yang serupa (Bochenkov & Sergeev, 2010). Terdapat 2 jenis susunan sensor dalam *array* yaitu model annular dan model planar. Penyusunan sensor gas didasarkan pada sistem aliran gas yang akan menuju dan dideteksi oleh sensor gas. Gas yang terdapat dalam model annular akan menuju sensor secara berurutan dari satu sensor ke sensor gas lainnya. Hal tersebut memungkinkan persebaran gas di setiap sensor yang merata. Model annular ini terdapat rongga antara sensor satu dengan sensor yang lainnya sehingga gas dapat terbuang ketika proses pendeteksian. Hal tersebut menyebabkan proses identifikasi dan klasifikasi aroma kopi kurang maksimal. Ukuran struktur model annular lebih kecil sehingga gas yang dideteksi secara berurutan memiliki kecepatan alir dan waktu deteksi yang lebih cepat. Hal tersebut menyebabkan gas yang dideteksi akan lebih sedikit atau konsentrasi gas lebih kecil (Cheng *et al.*, 2021).

System aliran gas yang terdapat dalam model planar yaitu gas yang dihasilkan akan berkumpul ditengah ruang sensor (*chamber*) terlebih dahulu kemudian gas tersebut akan menuju sensor gas untuk dideteksi secara bersamaan sehingga dapat diperoleh pola respon dari aroma kopi. Gas yang berkumpul tersebut menyebabkan persebaran gas yang diterima oleh masing – masing sensor tidak merata. Pendeteksian sensor secara bersamaan berguna untuk meminimalisir adanya gas yang terbuang ketika proses deteksi masih berlangsung. Ukuran struktur model planar lebih besar sehingga gas yang dideteksi memiliki kecepatan alir dan waktu deteksi yang lebih lambat. Hal tersebut menyebabkan gas yang dideteksi akan lebih banyak atau konsentrasi gas lebih besar (Cheng *et al.*, 2021)

### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei hingga Oktober 2023. Sampel yang digunakan diambil dari 4 perkebunan di Kab. Jember (Gumitir, Garahan, Sidomulyo, Ledokombo).

#### 3.2 Prosedur Penelitian

##### 3.2.1 Pembuatan Sensor

###### a. PANi-HCl dan PPy-HCl

Pembuatan komposit PANi-HCl dan PPy-HCl dilakukan dengan metode pencampuran yang diambil dari penelitian Romaita (2023). PANi diambil sebanyak 0,1 g kemudian dilarutkan dengan 10 mL DMSO (Dimetil sulfoksida) dan diaduk selama 4 jam menggunakan *magnetic stirrer*. PPy diambil sebanyak 0,1 g kemudian dilarutkan dengan 10 mL DMSO dan diaduk selama 4 jam. Larutan polianilin dan polipyrrol masing-masing dideposisi pada PCB dengan menggunakan pipet tetes. kemudian diuapkan dengan cara dioven pada suhu 50°C selama 12 jam.

###### b. PANi-GO

Pembuatan PANi-GO dilakukan dengan metode pencampuran yang diambil dari penelitian Yessya (2023). Anilin 0,5 mL, graphene oxide 0,2 g, dan HCl 1 M sebanyak 20 mL dicampur dengan 80 mL *DI water*. Campuran didinginkan pada *ice box* dengan suhu 0-5°C dan diaduk selama 30 menit lalu ditambahkan APS 1 M sebanyak 20 ml kemudian diaduk selama 15 jam menggunakan *magnetic stirrer*. Endapan yang diperoleh kemudian disaring menggunakan corong pisah dan dikeringkan dalam oven vakum dengan suhu 25°C selama 24 jam.

###### c. PPy-GO

Sintesis PPy-GO dilakukan dengan metode pencampuran (*blending*) yang diambil dari penelitian Salsabilla (2023). Sebanyak 0,85 gram PPy ditambahkan dengan 0,15 gram GO pada gelas beaker 250 mL, lalu dilarutkan dengan 100 mL

DMSO dan diaduk selama 5 jam pada suhu ruang. Larutan PPy-GO yang dihasilkan diteteskan diatas PCB hingga pola tengah PCB tertutup seluruhnya.

d. PVA/GO

Pembuatan komposit PVA/GO diambil dari penelitian Monica (2023) dengan cara melarutkan 0,80 gram serbuk PVA dalam 100 mL akuades pada suhu 90°C. Serbuk GO 0,20 gram ditambahkan ke dalam larutan PVA disertai dengan pengadukan selama 30 menit untuk menghomogenkan campuran.

e. PVAc-GO

Pembuatan komposit PVAc-GO diambil dari penelitian Laily (2023). Bubuk PVAc sebanyak 0,9 g dilarutkan dalam 100 mL DMF dan diikuti pengadukan selama 30 menit, kemudian ditambahkan 0,1g GO secara perlahan dengan pengadukan selama 2 jam pada suhu 60 °C. PVAc-GO yang terbentuk diteteskan pada permukaan PCB. Komposit yang telah terintegrasi pada PCB disimpan dalam desikator untuk menghindari terjadinya kontaminasi.

f. Tapioka-GO

Pembuatan Tapioka-GO menggunakan metode pencampuran yang diambil dari penelitian Vivin (2023). Tepung tapioka dilarutkan dalam 100 mL akuades kemudian dipanaskan pada suhu 95°C dan diaduk hingga terbentuk seperti gelatin. GO kemudian ditambahkan secara perlahan dan diaduk kembalikan pada suhu kamar untuk mendapatkan komposit tapioka-GO.

g. Akrilik-GO

Pembuatan komposit Akrilik-GO mengacu pada penelitian Manda (2023). *Polyacrylic* sebanyak 10 mL dilarutkan dalam 100 mL etanol dan dilakukan pengadukan selama 30 menit. Serbuk GO sebanyak 100 mg didispersikan kedalam larutan *Polyacrylic* dan dilakukan pengadukan kembali selama 30 menit.

### 3.2.2 Susunan Sensor

Sensor gas yang digunakan merupakan sensor PANi-HCl, PPy-HCl, PANi-GO, PPy-GO, PVA-GO, PVAc-GO, Tapioka-GO, Acrylic-GO. Sensor gas disusun dari papan sirkuit yang terbuat dari material akrilik dengan susunan *planar*. Lubang sensor gas berdiameter sekitar 2 cm. Kopi Robusta yang diseduh akan

menghasilkan gas yang akan menuju sensor sehingga dapat terdeteksi secara bersamaan.

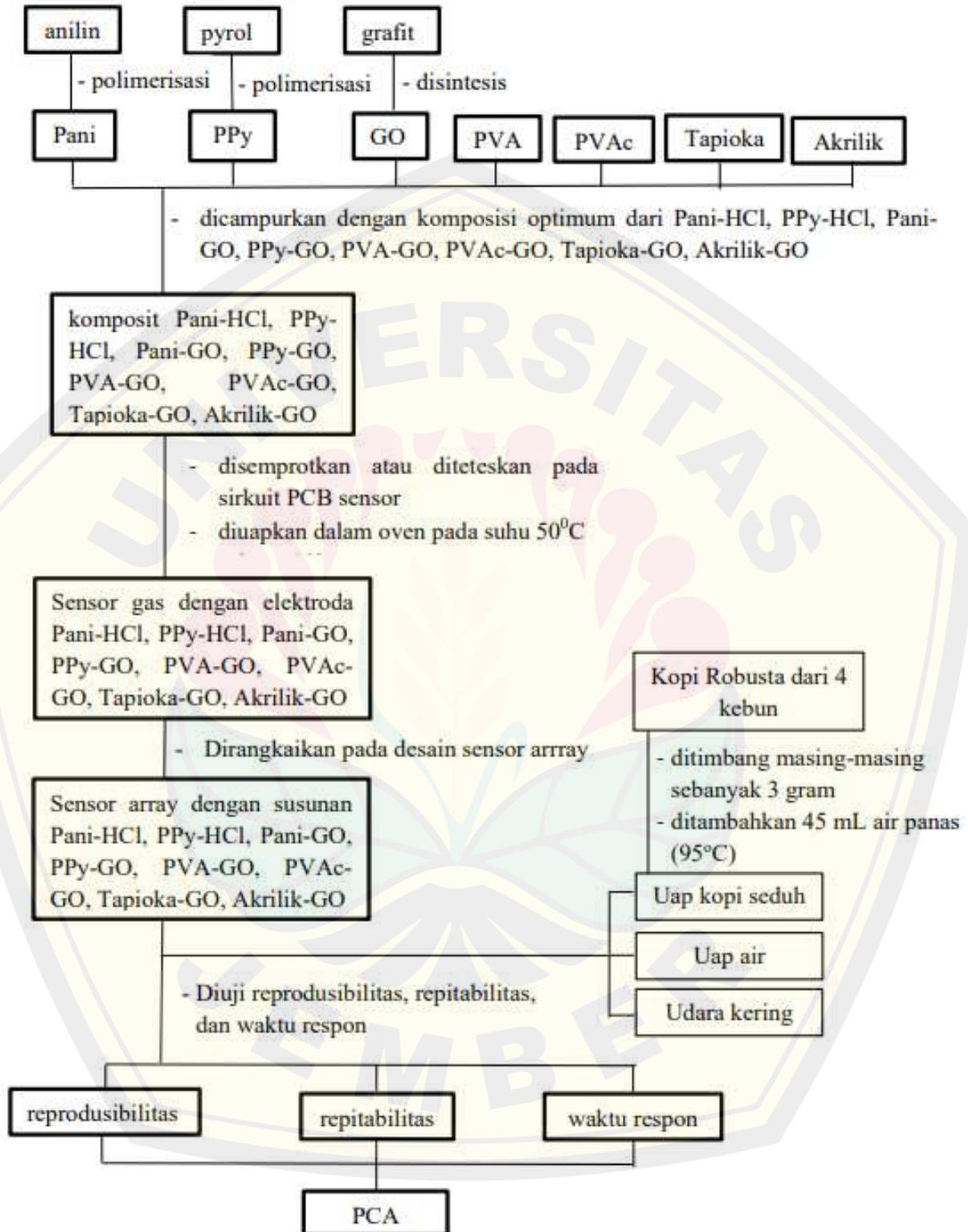
### 3.2.3 Desain Alat Penelitian

Set alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari *hotplate*, erlenmeyer, chamber berisi sensor PANi-HCl, PPy-HCl, PANi-GO, PPy-GO, PVA-GO, PVAc-GO, Tapioka-GO, Acrylic-GO, selang untuk aliran gas, pompa untuk menarik gas, rangkaian alat pengkondisi sinyal, Arduino Nano, dan PC. Penyusunan alat dimulai dari Erlenmeyer diletakkan diatas *hotplate* untuk menjaga suhunya agar tetap konstan. Erlenmeyer kemudian dihubungkan menuju *chamber* pada bagian *inlet* menggunakan selang. *Chamber* juga dihubungkan pada pompa melalui bagian *outlet*. Sensor gas juga telah dihubungkan dengan Arduino Nano dan alat pengkondisian sinyal.

### 3.3 Metode Analisis

Data hasil analisis dari uji yang telah dilakukan selanjutnya dianalisis dengan metode *principal component analysis*. Metode analisis ini berfungsi untuk mengelompokkan data dari setiap sampel. Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk menentukan nilai reabilitas, reproduibilitas, dan waktu respon sebagai parameter dari kinerja sensor gas.

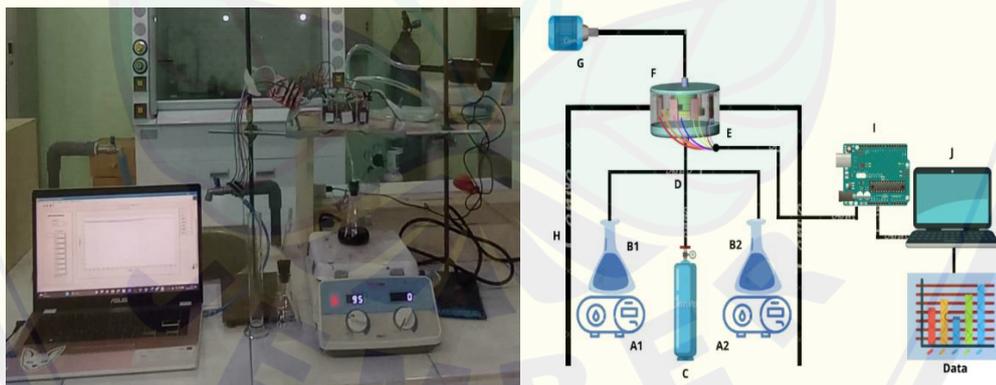
3.4 Desain Penelitian



## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Karakteristik Sensor *Array*

Sensor gas *array* tersusun dari sensor gas yang sejenis namun beda tipe, setiap tipenya memiliki fungsi yang berbeda-beda sehingga mampu untuk mendeteksi beberapa gas sekaligus dalam satu inputan. Menurut Wilson dan Baietto (2009). Penelitian ini menggunakan delapan jenis sensor yang berbasis polimer konduktif yang disusun secara *array*. Kedelapan sensor tersebut meliputi PANi-HCl, PPy-HCl, PANi-GO, PPy-GO, PVA-GO, PVAc-GO, Tapioka-GO dan Acrylic-GO yang dibuat dengan mengikuti prosedur serta komposisi pada penelitian sebelumnya. Selanjutnya, kedelapan sensor tersebut disusun secara planar kedalam ruang *chamber* yang telah dibuat dari bahan akrilik yang berfungsi untuk menampung gas analit selama proses pengukuran. *Chamber* dihubungkan langsung dengan alat pengondisi sinyal yang akan menghasilkan tegangan sehingga dapat terbaca oleh Arduino Nano. Arduino Nano berfungsi untuk mengkonversi sinyal analog menjadi sinyal digital sehingga dapat terbaca oleh perangkat komputer menggunakan aplikasi LabView. Rangkaian alat pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.1

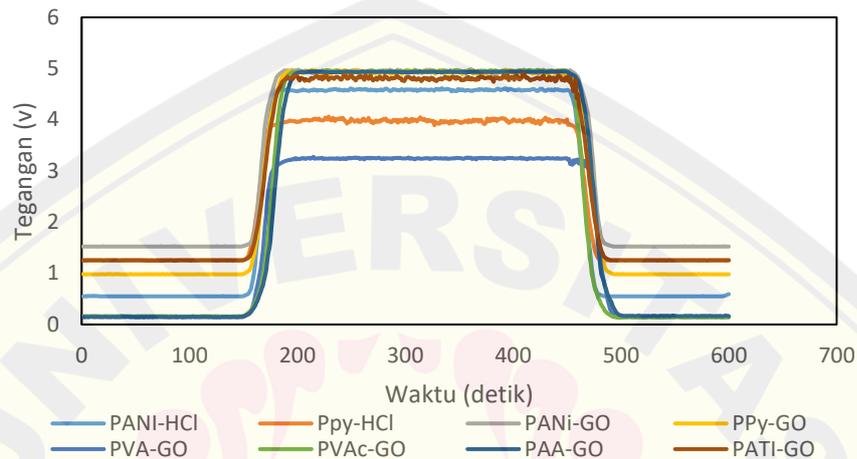


Gambar 4. 1 Rangkaian Alat Pengukuran

#### 4.1.1 Waktu Respon

Sensor array yang telah tersusun selanjutnya digunakan untuk mengukur uap kopi robusta dari perkebunan Gumitir, Sidomulyo, Ledokombo dan Garahan. Pengukuran tersebut dilakukan untuk melihat karakteristik dari masing-masing

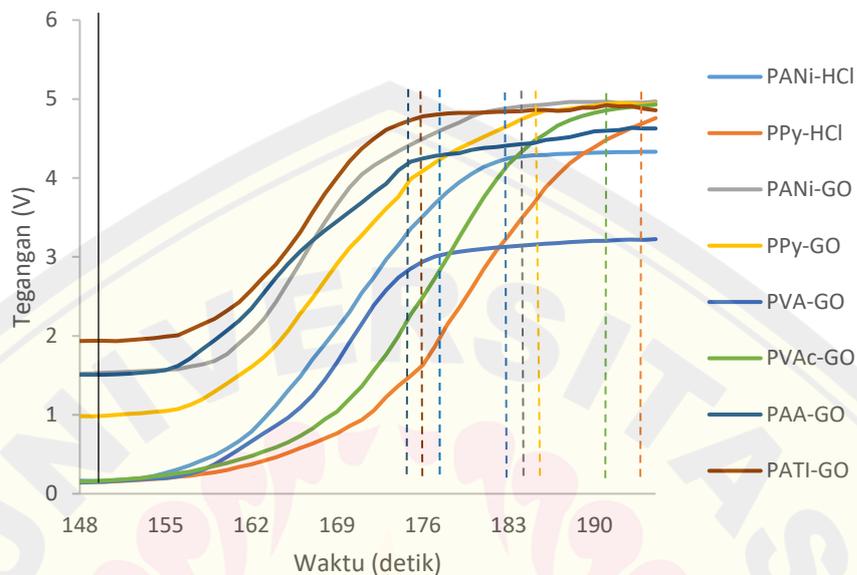
sensor pada sensor array. Pengukuran dilakukan sebanyak 10 kali pengulangan secara berturut-turut, dimana setiap pengukuran diambil sebanyak 150 data uap air sebagai *baseline*, 300 data uap kopi, dan 150 data *recovery baseline*. Berikut ini merupakan salah satu contoh hasil pengukuran uap kopi dengan sensor *array* pada kopi Sidomulyo, seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Respon Sensor Array Pada Kopi Sidomulyo

Respon sensor *array* pada kopi Sidomulyo diatas menunjukkan bahwa nilai konduktivitas mengalami kenaikan pada saat peralihan dari uap air atau *baseline* menuju ke uap kopi dan kembali menurun saat uap kopi diubah kembali menjadi uap air. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa senyawa volatil yang terdapat pada uap kopi terdeteksi oleh sensor. Naiknya nilai konduktivitas dipengaruhi oleh adanya interaksi antara polimer dengan senyawa volatil. Senyawa volatil yang terpapar akan berinteraksi dengan oksigen pada permukaan sensor sehingga mengakibatkan penurunan nilai resistansi. Penurunan nilai resistansi mengakibatkan peningkatan nilai konduktivitas begitu juga sebaliknya. Ketika uap kopi diganti menjadi uap air terjadi penurunan nilai konduktivitas. Kandungan oksigen di didalam uap air akan menggantikan oksigen yang hilang akibat berikatan dengan senyawa volatil, sehingga membentuk resistansi sensor kembali dan nilai konduktivitas menurun (Wang dan Jiang, 2019). Waktu peralihan dari tegangan uap air menuju uap kopi atau lama waktu yang diperlukan sensor untuk merespon uap kopi diukur sebagai waktu respon. Masing-masing sensor yang digunakan dalam pengukuran mempunyai waktu respon yang berbeda-beda. Data yang digunakan

untuk menghitung waktu respon diambil dari hasil pengukuran pada kopi Sidomulyo. Hasil pengukuran waktu respon ditunjukkan pada Gambar 4.3 berikut ini



Gambar 4. 3 Grafik Waktu Respon

Gambar 4.3 menunjukkan hasil dari pengukuran waktu respon dalam grafik tegangan vs waktu. Waktu respon diukur mulai dari awal pengukuran uap kopi sampai diperoleh data tegangan yang konstan. Nilai waktu respon didapatkan dari perhitungan  $t_2 - t_1$  dimana  $t_1$  merupakan nilai yang didapatkan dari pertamakali uap kopi dihitung dan  $t_2$  merupakan nilai dimana tegangan dari uap yang dihitung sudah mulai konstan. Berdasarkan Gambar 4.3 waktu ke 150 detik merupakan waktu pertama kali dilakukan pengukuran pada uap kopi atau  $t_1$ , selanjutnya tegangan akan terus meningkat sampai mencapai tegangan yang konstan atau  $t_2$  pada detik-detik tertentu. Semakin rendah atau semakin sedikit waktu respon maka akan semakin baik karena hal tersebut menunjukkan bahwa sensor dapat merespon gas pada uap kopi dengan cepat. Hasil perhitungan waktu respon dari masing-masing sensor dapat kita lihat pada tabel 4.1

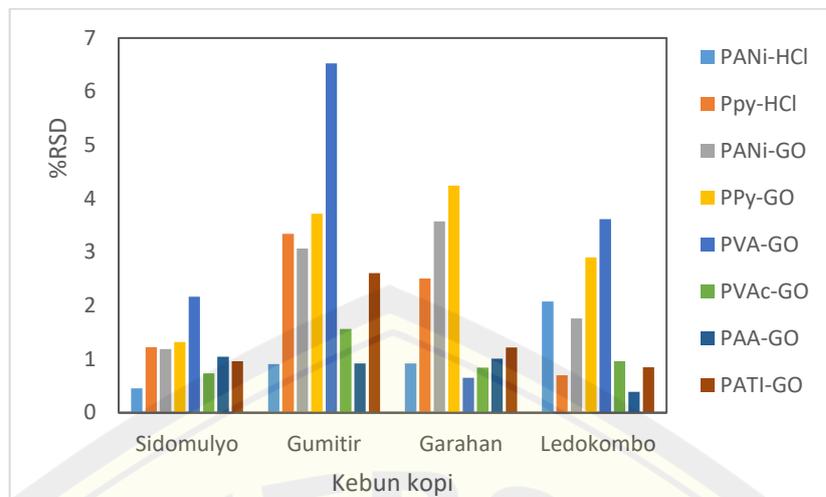
Tabel 4. 1 Nilai Waktu Respon

No.	Sensor	Waktu Respon (detik)
1	PANi-HCl	33
2	Ppy-HCl	44
3	PANi-GO	34
4	PPy-GO	36
5	PVA-GO	28
6	PVAc-GO	41
7	PAA-GO	25
8	PATI-GO	26

Hasil waktu respon pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa waktu respon yang dimiliki oleh kedelapan sensor memiliki nilai yang relatif kecil dengan rentang nilai 25 – 44 detik, sehingga dapat dikatakan bahwa sensor-sensor tersebut memiliki kemampuan yang baik dalam merespon uap kopi. Sensor memiliki waktu respon yang cepat dikarenakan memiliki resistansi yang tinggi. Menurut literatur Zhou et al., (2016) material dengan konduktivitas yang tinggi memiliki waktu respon yang cepat hal tersebut dikarenakan material tersebut mampu menangkap gas yang dialirkan dengan cepat. Untuk mengetahui lebih lanjut tentang karakteristik dari sensor array dilakukan juga uji repeatabilitas dan uji reproduisibilitas.

#### 4.1.2 Uji Repeatabilitas

Uji repeatabilitas merupakan uji yang dilakukan untuk mengetahui kelayakan data yang diperoleh berdasarkan tingkat kedekatan hasil pengukuran tiap pengulangan pada kondisi yang sama, nilai repeatabilitas dari masing-masing sensor dapat dilihat dari nilai Relatif Standar Deviasi (RSD) yang dihasilkan pada setiap pengukuran. Semakin kecil nilai %RSD yang dihasilkan maka tingkat presisinya semakin tinggi sehingga dapat dikatakan bahwa kerja sensor yang digunakan semakin baik. Uji repeatabilitas dilakukan sebanyak 10 kali pengulangan secara berturut-turut dalam waktu 1 hari. Berikut ini merupakan hasil pengukuran dari uji repeatabilitas yang ditunjukkan pada Gambar 4.4



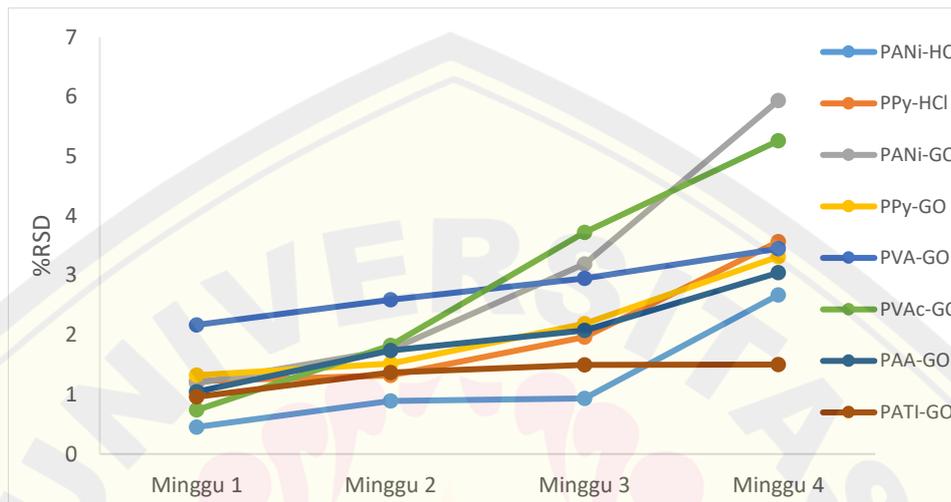
Gambar 4. 4 Nilai Simpangan Sensor *Array* pada pengukuran kopi dari 4 kebun

Hasil diatas menunjukkan bahwa nilai %RSD yang dihasilkan dari uji repeatabilitas sensor terhadap selisih antara baseline dan kopi pada keempat kebun berbeda-beda. Menurut Highway Innovative Center (2012), sensor dapat dikatakan memiliki kinerja yang baik ketika memiliki nilai %RSD dibawah 5%. Hampir semua sensor yang digunakan memiliki nilai %RSD yang baik, namun terdapat satu sensor yang masih memiliki nilai %RSD diatas 5% yaitu sensor PVA-GO pada kopi Gumitir, hal ini tentu saja tidak sesuai dengan penelitian sebelumnya yaitu dibawah 5%. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh kesalahan pada saat proses pengukuran, karena nilai %RSD dari sensor PVA-GO pada ketiga kebun lainnya dapat dikatakan cukup baik yaitu sebesar 2,168% pada kopi Sidomulyo, 0,564% pada kopi Garahan dan 3,617% pada kopi Ledokombo. Hasil yang diperoleh sudah sesuai dengan penelitian sebelumnya yaitu masing-masing sensor memiliki nilai reabilitas yang baik dengan nilai %RSD dibawah 5%. Uji selanjutnya yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari sensor *array* adalah uji reproduibilitas.

#### 4.1.3 Reproduibilitas

Reproduibilitas merupakan tingkat kedekatan dari hasil yang didapatkan pada metode dan sampel yang sama namun dengan kondisi pengukuran yang berbeda. Uji reproduibilitas bertujuan untuk menguji kelayakan alat ukur yang digunakan dengan menentukan tingkat kepresisian hasil pengukuran pada parameter kondisi yang berbeda. Uji reproduibilitas dilakukan setiap minggu sekali selama 4 minggu pada salah satu sampel kopi, sampel kopi yang akan diuji

nilai reproduibilitasnya adalah kopi Sidomulyo. Reprodusibilitas dari setiap sensor dapat diketahui dari nilai %RSD yang diperoleh. Sama halnya dengan repeatabilitas semakin kecil nilai %RSD yang diperoleh maka nilai reproduibilitasnya semakin baik. Nilai reproduibilitas dari hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.5



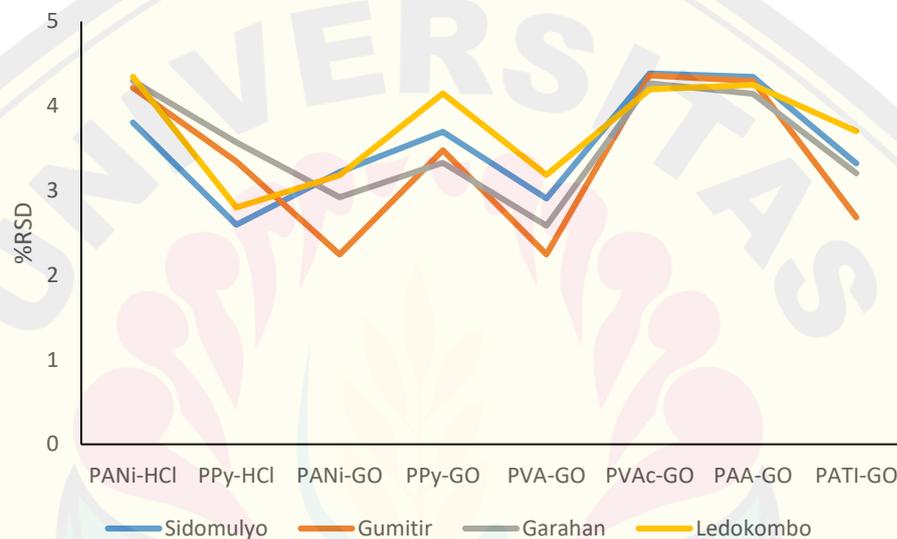
Gambar 4. 5 Grafik Simpangan Pengukuran Sensor Array Selama 4 Minggu

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa %RSD dari kedelapan sensor mengalami kenaikan setiap minggunya. Kenaikan %RSD pada sensor menandakan bahwa kinerja sensor mengalami penurunan setiap minggunya, sehingga dapat dikatakan bahwa kinerja sensor akan menurun apabila digunakan secara berkala dalam jangka waktu yang panjang. Menurut Hermita (2004) dan Mamat et al., (2011) kinerja sensor gas dapat dikatakan memiliki tingkat presisi dan reproduibel yang baik apabila nilai  $\%RSD \leq 5\%$ . Nilai %RSD dari kedelapan sensor pada minggu pertama sampai dengan minggu ketiga terbilang masih baik dan layak digunakan karena memiliki nilai %RSD dibawah 5%, sedangkan pada minggu ke 4 terdapat dua sensor yaitu PANi-GO dan PVAc-GO yang memiliki %RSD sebesar 5,9% dan 5,3%. Kedua sensor yang memiliki nilai %RSD diatas 5% pada minggu ke 4 dapat dikatakan sudah rusak atau sudah tidak layak digunakan. Nilai %RSD yang diatas 5% menandakan bahwa sensor tersebut sudah tidak dapat bekerja dengan baik karena memberikan respon pengukuran yang sudah tidak stabil. Nilai %RSD yang semakin meningkat pada tiap minggunya menunjukkan bahwa tingkat kerapatan yang dihasilkan dari proses pengukuran semakin lama semakin menurun.

Menurunnya nilai kerapatan menunjukkan bahwa kinerja dari sensor juga semakin menurun.

#### 4.2 Profil Respon Sensor *Array*

Profil respon dari sensor *array* dapat kita ketahui berdasarkan pola responnya dari pengukuran keempat sampel kopi yaitu Sidomulyo, Gumitir, Garahan dan Ledokombo. Pola respon sensor merupakan pola yang terbentuk berdasarkan respon dari masing-masing sensor ditinjau dari nilai tegangan yang diperoleh, pola respon dari masing-masing sensor dapat dilihat pada Gambar 4.6



Gambar 4. 6 Pola Respon

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa respon yang diterima dari masing-masing kopi yang diukur berbeda-beda. Sidomulyo, Gumitir, Garahan dan Ledokombo dapat dibedakan menggunakan sensor *array* karena keempat kopi tersebut memiliki perbedaan karakteristik, perbedaan tersebut biasanya dipengaruhi oleh ketinggian, tingkat kesuburan tanah, maupun intensitas cahaya dari masing-masing kebun, sehingga dari masing-masing kebun tersebut menghasilkan kopi dengan kandungan senyawa volatil yang berbeda-beda. Towaha *et al.* (2014), menjelaskan bahwa aroma kopi yang dihasilkan pada suatu kebun dipengaruhi oleh faktor lingkungan dimana semakin rendah intensitas cahaya matahari yang diserap oleh tanaman maka kadar kafein yang dihasilkan akan semakin tinggi.

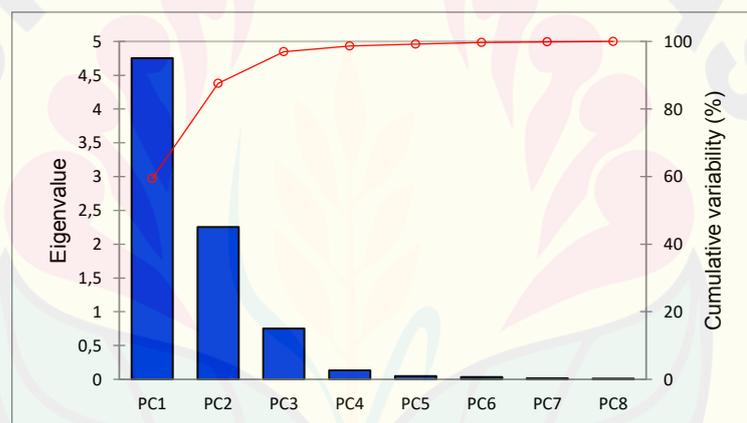
Nilai tegangan yang berbeda-beda pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa masing-masing sensor sensitif terhadap senyawa tertentu. Sensor dengan nilai tegangan tertinggi pada kopi Sidomulyo adalah PVAc-GO dan PAA-GO, dimana PVAc-GO sensitif terhadap gas alkohol, benzena, dan toluena dan PAA-GO sensitif terhadap gas nitrit. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan senyawa volatil yang paling banyak terdeteksi pada kopi Sidomulyo adalah alkohol, benzena, toluena, dan nitrit. Nilai tegangan tertinggi pada kopi Gunitir adalah PVAc-GO, PAA-GO dan PANi-HCl. PVAc-GO sensitif terhadap gas alkohol, benzena, dan toluena, PAA-GO sensitif terhadap gas nitrit dan PANi-HCl sensitif terhadap gas NH<sub>3</sub> dan CO. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan senyawa volatil yang paling banyak terdeteksi pada kopi Sidomulyo adalah NH<sub>3</sub> dan CO, alkohol, benzena, toluena, dan nitrit. Nilai tegangan dari kopi Garahan hampir sama seperti kopi Gunitir, namun pada kopi Garahan urutan dari tertinggi adalah PANi-HCl, lalu PAA-GO dan yang ketiga adalah PVAc-GO. Kopi Ledokombo memiliki nilai tegangan yang sama dengan kopi Garahan, namun terdapat satu lagi sensor yang memiliki nilai tegangan yang tinggi yaitu PPy-GO yang sensitif terhadap gas CO.

Profil respon dari sensor *array* dapat juga kita ketahui melalui analisis PCA (*Principal component analysis*). Profil respon sensor terhadap kopi dari keempat kebun dapat dilihat melalui analisa pegelompokan data dari masing-masing sensor berdasarkan sampel kopi yang digunakan pada analisis PCA. Analisis PCA digunakan untuk memplot data yang memiliki banyak variabel atau memiliki lebih dari tiga dimensi, dimana data tersebut akan diplot dengan cara menghilangkan variabel yang memiliki pengaruh terkecil. Pada umumnya PCA akan menghasilkan variabel yang terdiri dari dua komponen yaitu komponen utama 1 atau *principal component 1* (PC1) yang terletak pada sumbu x dan komponen utama 2 atau *principal component 2* (PC2) yang terletak pada sumbu y. Langkah pertama yang perlu dilakukan dalam analisis PCA adalah menentukan *eigenvalue*. Nilai *eigenvalue* yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 *Eigenvalues*

No.	<i>Eigenvalue</i>	<i>Variability (%)</i>	<i>Cumulative (%)</i>
1	4,753	59,411	59,411
2	2,254	28,172	87,583
3	0,752	9,398	96,981
4	0,131	1,632	98,613
5	0,049	0,617	99,230
6	0,035	0,439	99,669
7	0,017	0,212	99,881
8	0,010	0,119	100,000

*Eigenvalue* yang telah diperoleh selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai *Principal Component (PC)* yang akan digunakan. Dari kedelapan *eigenvalue* pada Tabel 4.2 akan dipilih dua diantaranya yang memiliki nilai paling tinggi yang akan ditetapkan sebagai PC1 dan PC2, dimana nilai tersebut dapat dilihat melalui grafik scree plot pada Gambar 4.7



Gambar 4. 7 Grafik Scree Plot

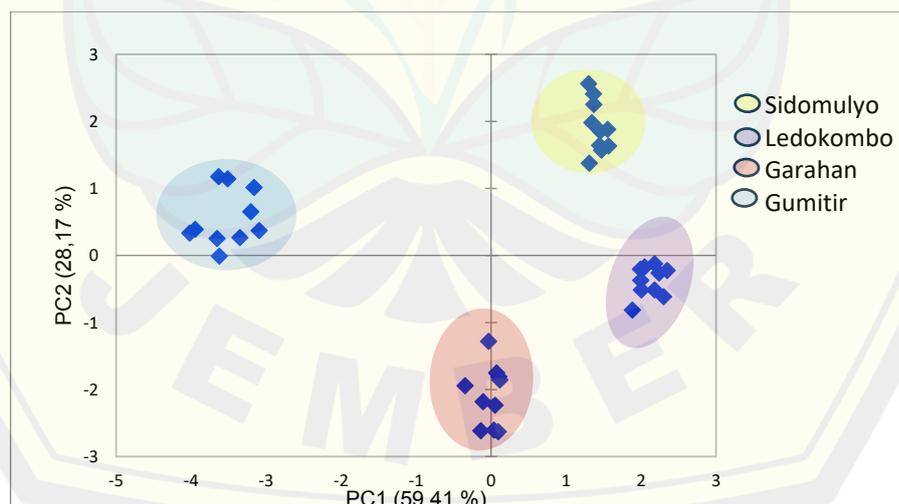
Hasil tersebut menunjukkan kedelapan PC yang didapatkan, dari kedelapan nilai tersebut akan diambil dua diantaranya yaitu PC1 dan PC2. Hanya PC1 dan PC2 yang dipilih karena keduanya memiliki nilai *eigenvalue* terbesar. PC1 dan PC2 sudah memenuhi syarat untuk mewakili kedelapan PC karena memiliki nilai total keragaman kumulatif sebesar 87,583% dengan nilai PC1 sebesar 59.41% dan PC2 sebesar 28,17%. Hasil tersebut juga sudah sesuai dengan literatur karena menurut Hendro et al., (2012), persentase minimal dari keragaman kumulatif yang harus diperoleh untuk mewakili semua data adalah sebesar 70%. Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai *eigenvector* dari hasil analisis PCA. Nilai *eigenvector* yang diperoleh akan menunjukkan seberapa banyak kontribusi dari masing-masing

sensor pada proses analisis. Nilai *eigenvector* dari masing-masing sensor dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4. 3 *Eigenvectors*

Sensor	PC1	PC2
PANi-HCl	-0,07406	<b>0,52682</b>
PPy-HCl	-0,01874	<b>-0,63446</b>
PANi-GO	<b>-0,38562</b>	-0,25877
PPy-GO	<b>0,4505</b>	0,03489
PVA-GO	<b>0,4298</b>	-0,06539
PVAc-GO	<b>0,42311</b>	0,1105
PAA-GO	-0,29408	<b>0,47887</b>
PATI-GO	<b>0,43849</b>	0,07706

Hasil diatas menunjukkan kontribusi dari kedelapan sensor dalam proses analisis pada PC1 dan PC2. Sensor yang berperan penting dalam proses klasifikasi aroma kopi pada PC1 adalah PANI-GO, PPy-GO, PVA-GO, PVAc-GO dan PATI-GO sedangkan pada PC2 yaitu PANi-HCl, PPy-HCl, dan PAA-GO. Hal tersebut dikarenakan pada sensor tersebut memiliki nilai *eigenvector* terbesar dimana apabila hanya menggunakan sensor tersebut proses klasifikasi aroma kopi dapat berjalan. Hasil dari klasifikasi diatas selanjutnya digunakan untuk membuat *score plot* yang merupakan hasil akhir dari proses analisis. Tabel *score plot* pada analisis ini dapat dilihat pada Gambar 4.8

Gambar 4. 8 *Score Plot* Analisis PCA

Hasil yang diperoleh dari proses analisis PCA terhadap keempat sampel kopi cukup baik karena berhasil mengelompokkan keempat sampel kopi diantaranya

Sidomulyo, Ledokombo, Garahan, dan Gunitir. Keempat sampel kopi tersebut berada pada kuadran yang berbeda, meskipun letak sampel kopi Ledokombo dan Garahan berada pada kuadran yang hampir sama namun keduanya tetap dapat dibedakan dengan jelas. Perbedaan kuadran pada masing-masing sampel menunjukkan bahwa keempat sampel tersebut sudah terkelompok dengan baik.



## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Sensor *array* dari elektroda PANi-HCl, PPy-HCl, PANi-GO, PPy-GO, PVA-GO, PVAc-GO, Tapioka-GO dan Akrilik-GO pada pengukuran uap air (*baseline*) dan uap kopi memiliki waktu respon yang cukup baik dengan rentang 25 – 44 detik. Nilai repeatabilitas semua sensor memiliki RSD dibawah 5% namun sensor PVA-GO pada kopi Gunitir memiliki nilai RSD diatas 5%. Nilai reproduibilitas kedelapan sensor pada minggu pertama sampai dengan minggu ketiga memiliki nilai RSD dibawah 5%, sedangkan pada minggu ke 4 terdapat dua sensor yaitu PANi-GO dan PVAc-GO yang memiliki RSD sebesar 5,9% dan 5,3%.
2. Kedelapan sensor yang disusun secara *array* mampu membedakan aroma kopi dari setiap sampel kopi yang digunakan. Berdasarkan pola respon yang dihasilkan pada pengukuran serta hasil dari analisis PCA yang menunjukkan keempat sampel kopi tersebut berada pada kuadran yang berbeda, meskipun letak sampel kopi Ledokombo dan Garahan berada pada kuadran yang hampir sama namun keduanya tetap dapat dibedakan dengan jelas.

### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan adalah supaya lebih memperhatikan cara penyimpanan sensor yang benar dan lebih berhati-hati ketika meletakkan sensor kedalam *chamber*. Diharapkan penelitian selanjutnya menguji lebih lanjut mengenai faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kinerja sensor terhadap suhu dan kelembapan pada sensor polimer konduktif yang disusun secara *array*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bai, H., dan Shi, G. 2007. Gas Sensors Based on Conducting Polymers. *Sensors*. 7, 267-307. DOI:[10.3390/s7030267](https://doi.org/10.3390/s7030267)
- Balli, B., Pavk, A., dan Pen, F. 2019. Graphene and Polymer Composites for Supercapacitor Applications. In A. Khan, M. Jawaid, Inamuddin, & A. M. Asiri (Eds.). *Journal of Nanocarbon and its composites*. 25, 123–151.
- Barui, A. 2018. *Synthetic polymeric gel*. *Polymeric Gels*, 55–90. doi:[10.1016/B978-0-08-102179-8.00003-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102179-8.00003-X)
- Bimantoro, A., Manaf, A., Hafizah, M. A. E. 2014. Sintesis dan Karakterisasi Polimer Konduktif Polianilin Sebagai Matriks Material Komposit Penyerap Gelombang Mikro. Jakarta. Universitas Indonesia.
- Bochenkov, V. E., & Sergeev, G. B. 2010. Sensitivity, Selectivity, and Stability of Gas-Sensitive Metal-Oxide Nanostructures. *Metal Oxide Nanostructures and Their Applications*, 3, 31–52.
- Cai, Z. Y., Lin, F. F., Wei, T., Fu, D. G., dan Pei, L. Z. 2019. Synthesis and Electrochemical Performance of Polypyrrole/Graphene Nanocomposites for The Detection of Formaldehyde. *International Journal of Electrochemical Science*. 14(5), 4371–4382. doi: 10.20964/2019.05.62
- Cheng, L., Meng, Q., Lilienthal, A. J., dan Qi, P. 2021. Development of Compact Electronic Noses: a Review. *Article in Measurement Science and Technology*
- Chomari, M. N., & Kusumawati, D. H. 2012. Variasi Molaritas H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada Polianilin/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. *Jurnal Sains Dan Matematika*. 1(1), 29–32.
- Chun, Xia, Zhang, Hong, Wei, Li, Yuqing, Wu. 2020. Polyvinyl Alcohol-Supported AuAgNCs-CDs Film as a Selective Sensor for Gas Hydrogen Sulfide Detection in Air. *Macromolecular Rapid Communication*. doi:[10.1002/marc.202000120](https://doi.org/10.1002/marc.202000120)
- Das, M., Sarkar, D. 2018. Development of room temperature ethanol sensor from polypyrrole (PPy) embedded in polyvinyl alcohol (PVA) matrix. *Polym. Bull.* 75, 3109–3125. doi:[10.1007/s00289-017-2192-y](https://doi.org/10.1007/s00289-017-2192-y)

- Ding, B., Yamazaki, M., & Shiratori, S. 2005. Electrospun fibrous polyacrylic acid membrane-based gas sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 106(1), 477–483. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2004.09.010>
- Hasibuan, A. A., Yusibani, E., and Surbakti, M. S. 2017. Design of Hydrogen Gas Sensor based on Metal Oxide Semiconductor ( MOS ). 6(1), 20–24.
- Hazarika, J., & Kumar, A. 2017. Scalable and Low Cost Synthesis of Highly Conducting Polypyrrole Nanofibers Using Oil–Water Interfacial Polymerization under Constant Stirring. *The Journal of Physical Chemistry B*. 121(28), 6926–6933. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.7b03179>
- Hou, Y., Zhang, L., Chen, L., Liu, P., Hirata, A., dan Chen, M. 2014. Raman Characterization of Pseudocapacitive Behavior of Polypyrrole on Nanoporous Gold. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 16(8), 3523–3528. <https://doi.org/10.1039/C3CP54497D>
- Korotcenkov, G. 2014. Handbook of Gas Sensor Materials. Gwangju : *Gwangju Institute of Science and Technology*.
- Kumar, B. 2012. Tailoring the chemo-resistive response of self-assembled polysaccharide-CNT sensors by chain conformation at tunnel junctions. 0, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2012.03.034>
- Mamat, M., Samad, S. A., dan Hannan, M. A. 2011. An electronic nose for reliable measurement and correct classification of beverages. *Sensors*. 11(6), 6435–6453.
- McDonagh, C., Burke, C. S., dan MacCraith, B. D. 2008. Optical Chemical Sensors. *Chemical Reviews*. 108(2), 400–422 doi: [10.1021/cr068102g](https://doi.org/10.1021/cr068102g)
- Nazemi, H., Joseph, A., Park, J., dan Emadi, A. 2019. Advanced Micro-and Nano Gas Sensor Technology: A review. *Sensors (Switzerland)*. 19(6), 1–3. <https://doi.org/10.3390/s19061285>
- Park, S., Rae, Y., Heo, Y. 2018. A Prospective Synthesis Approach to Emerging Materials for Supercapacitors. In: *Emerging Materials for Energy Conversion and Storage*. Elsevier. 185-208. doi:10.1016/B978-0-12-813794-9.00006-5

- Patel, H. K., Austin, R. H., dan Barber, J. 2014. *Biological dan Medical Physics*. Gujarat : Nirma University.
- Peregrino, P. P., Cavallari, M. R., Fonseca, F. J., Moreira, S. G. C., Sales, M. J. A., & Paterno, L. G. 2020. Starch-Mediated Immobilization, Photochemical Reduction, and Gas Sensitivity of Graphene Oxide Films. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03892>
- Persada, D., Andayati, D., & Fakhriyah, E. 2019. Pendeteksi Kebocoran Gas Menggunakan Sensor Mq-2 Berbasis Arduino Uno. *Manajemen Dan Teknik Informatika*, 03(01), 51–60.
- Rahayu, E. F., & Amalia, A. N. 2020. Sintesis Graphene Melalui Iradiasi Microwave Sebagai Sensor Metanol. *Fullerene Journal of Chemistry*, 5(1), 40. <https://doi.org/10.37033/fjc.v5i1.137>
- Rozalina, H. L. 2020. Perak Polyvinyl Acetate (PVAc). *Jurnal Akar*. 2, 1. DOI: [10.36985/jar.v9i1.193](https://doi.org/10.36985/jar.v9i1.193)
- Sanjay G. Bachhav, Dilip R. Patil. 2015. Study of Polypyrrole-Coated MWCNT Nanocomposites for Ammonia Sensing at Room Temperature. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. 3,10. doi:[10.4236/msce.2015.310005](https://doi.org/10.4236/msce.2015.310005)
- Show, An, Chen and Hsun, Tsing, Lee. 1995. Structure and Properties of Poly(acrylic acid)-Doped Polyaniline. *Macromolecules*. 28, 2858-2866. <https://doi.org/10.1021/ma00112a035>
- Tai, Z., Yang, J., Qi, Y., Yan, X., & Xue, Q. 2013. Synthesis of a graphene oxide-polyacrylic acid nanocomposite hydrogel and its swelling and electroresponsive properties. *RSC Advances*, 3, 12751-12757. doi:[10.1039/C3RA22335C](https://doi.org/10.1039/C3RA22335C)
- Towaha, J., Aunillah, A., Purwanto, E. H., & Supriadi, H. 2014. Pengaruh Elevasi dan Pengolahan terhadap Kandungan Kimia dan Citarasa Kopi Robusta Lampung. *Jurnal Tanaman Industri Dan Penyegar*, 1(1), 57. <https://doi.org/10.2082/jtidp.v1n1.2014.p57-62>.

- Wang, C., Yin, L., Zhang, L., Xiang, D., & Gao, R. 2010. Metal Oxide Gas Sensors: Sensitivity and Influencing Factors. *Sensors*. 10(3), 2088–2106. doi: [10.3390/dtk100302088](https://doi.org/10.3390/dtk100302088)
- Wang, L., dan Jiang, R. 2019. Investigation on the Ammonia Sensitivity Mechanism of Conducting Polymer Polypyrroles Using In-Situ FT-IR. *Materials Sciences and Applications*. 10(07), 497–508. DOI: [10.4236/msa.2019.107036](https://doi.org/10.4236/msa.2019.107036)
- Wilson, A. D. dan Baietto, M. 2009. Applications and Advances in Electronic-Nose Technologies. *Sensors*. 9(7), 5099–5148. <https://doi.org/10.3390/s90705099>
- Yusman, A. 2021. Pengaruh Penarikan Tempo Bakteria Selulosa dengan Polipirol (TOBC+PPy) terhadap Konduktivitas Listrik. Skripsi. Padang: Universitas Andalas.
- Zamiri, G., dan Haseeb, A. S. M. A. 2020. Recent Trends and Developments in Graphene/Conducting Polymer Nanocomposites Chemiresistive Sensors. *Materials*. 13(15), 1-24. <https://doi.org/10.3390/s90705099>
- Zhang B., Zhang, Y., Peng, C., Yu, M., Li, L., Deng, B., Hu, P., Fan, C., Li, J., Huang, Q. 2012. Preparation of polymer decorated graphene oxide by  $\gamma$ -ray induced graft polymerization. *Nanoscale*. 4(5), 1742-8. <https://doi.org/10.1039/C2NR11724J>
- Zhou, J., Mülle, M., Zhang, Y. 2016. High-ampacity conductive polymer microfibers as fast response wearable heaters and electromechanical actuators. *Journal of Materials Chemistry C*. 4(6), 1238-1249.
- Zulfikridin, D., dan Hendro. 2019. Rancang Bangun Conductivity Meter menggunakan probe pipa kapiler untuk memantau kualitas susu. Bandung: ITB Press

**LAMPIRAN-LAMPIRAN**

Lampiran 3. 1 Pembuatan Elektroda dan *Chamber*

<https://bit.ly/Pembuatan-Elektroda-Dan-Chamber>

Lampiran 4. 1 Data selisih Tegangan *Baseline* dan Uap Kopi

<https://bit.ly/Data-Selisih-Tegangan-Baseline-dan-Uap-Kopi>

Lampiran 4. 2 Data Pengukuran Reprodusibilitas Pada 4 Kebun

<https://bit.ly/Data-Pengukuran-Reprodusibilitas>

Lampiran 4. 3 Data Analisis PCA

<https://bit.ly/Data-Analisis-PCA>

