



**KARAKTERISASI MUTU BIJI KAKAO (LINDAK)
TERFERMENTASI BERBASIS AROMA MENGGUNAKAN
*ELECTRONIC NOSE***

PROPOSAL SKRIPSI

Oleh :

Intan Diah Purwandari

161810301018

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS JEMBER

2020



**KARAKTERISASI MUTU BIJI KAKAO (LINDAK)
TERFERMENTASI BERBASIS AROMA MENGGUNAKAN
*ELECTRONIC NOSE***

SKRIPSI

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

Oleh:
Intan Diah Purwandari
NIM 161810301018

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2020**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Ibunda Sriyani dan ayahanda Muhammad Dhoha As. Terima kasih tak terhingga untuk segala kasih sayang, doa, cinta, perjuangan, bimbingan, dukungan, dan nasihat serta semangat yang diberikan secara tulus tanpa henti sampai saya meraih ini;
2. Adikku tercinta Hafizd Dzul Ikrom yang selalu memberikan doa, dan dukungannya;
3. Bapak/Ibu Guru dan teman-teman SDN Pontang 02, SMPN 1 Ambulu, SMAN Ambulu, serta dosen-dosen di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, pengalaman dan bimbingannya dengan penuh kesabaran;
4. Bapak Tri Mulyono, S.Si.,M.Si, selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Drs. Zulfikar, Ph.D selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran serta doa dan membimbing dengan penuh kesabaran dalam penulisan skripsi ini;
5. Keluarga besar Extasy 2016, terima kasih atas bantuan dan semangat dan dukungan yang kalian berikan;
6. Teman-teman kost abu-abu yang selalu membantu, mendukung dan memberikan semangat;
7. Semua pihak yang telah berkontribusi namun tidak dapat disebutkan satu persatu;

MOTTO

“Sesungguhnya setelah kesulitan ada kemudahan, maka apabila telah selesai (dari urusan dunia) bersungguh-sungguhlah (dalam beribadah). Dan hanya kepada Tuhan-Mu lah berharap”
(Qs. Al-Insyirah: 6-8) ^{*)}

“Barang siapa yang keluar rumah untuk mencari ilmu maka Allah akan memudahkan baginya jalan ke surga”
(*Hadis Riwayat Muslim*) ^{**)}

^{*)} Kementerian Agama RI. 2007. *Al-Qur'an dan Terjemahnya dilengkapi dengan Kajian Usul Fiqih dan Intisari Ayat*. Bandung: PT. Sygma Examedia Arkanleema.

^{**)} Almath, Muhammad Faiz. 1991. *1100 Hadits Terpilih: Sinar Ajaran Muhammad*. Jakarta : Gema insani.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Intan Diah Purwandari

NIM : 161810301018

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Karakterisasi Mutu Biji Kakao (Lindak) Terfermentasi Berbasis Aroma Menggunakan *Electronic Nose*” 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 bertanggungjawab 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 mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, November 2020

Yang menyatakan,

Intan Diah Purwandari

NIM 161810301018

SKRIPSI

**KARAKTERISASI MUTU BIJI KAKAO (LINDAK)
TERFERMENTASI BERBASIS AROMA MENGGUNAKAN
*ELECTRONIC NOSE***

Oleh

**Intan Diah Purwandari
NIM 161810301018**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Tri Mulyono, S.Si.,M.Si
Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Zulfikar, Ph.D.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Karakterisasi Mutu Biji Kakao (Lindak) Terfermentasi Berbasis Aroma Menggunakan *Electronic Nose*” karya Intan Diah Purwandari, telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada :

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Tim Penguji

Ketua,

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

Anggota II.

Drs. Sudarko, Ph.D.
NIP. 196903121992031002

Anggota 1,

Drs. Zulfikar, Ph.D.
NIP.196310121987021001

Anggota III,

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

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

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

RINGKASAN

Karakterisasi Mutu Biji Kakao (Lindak) Terfermentasi Berbasis Aroma Menggunakan Electronic Nose; Intan Diah Purwandari, 161810301018; 2020: 71 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Kakao adalah salah satu produk komoditas unggulan di Indonesia. Kakao Lindak merupakan jenis kakao yang banyak dibudidayakan di Indonesia. Kabupaten Banyuwangi adalah salah satu daerah penghasil kakao Lindak di Jawa Timur. Kakao merupakan tanaman yang memiliki aroma yang khas. Aroma biji kakao dipengaruhi oleh senyawa kimia yang terkandung di dalamnya. Senyawa tersebut terdiri dari senyawa volatil. Aroma kakao sampai saat ini dikarakterisasi dengan cara melibatkan *human tester* dengan indera penciumannya. Cara ini menggunakan *quality control* yang subjektif karena bergantung pada kemampuan, pemahaman, serta pengalaman masing-masing *human tester* terhadap kakao. Metode lain yang digunakan adalah dengan menggunakan analisis zat kimia dan spektrum gas yang terkandung didalamnya. Metode ini memang memiliki akurasi yang tinggi namun relatif mahal dan masih memerlukan orang yang ahli dibidangnya. Oleh karena itu, diperlukan alternatif lain yang dapat digunakan untuk mengkarakterisasi jenis kakao berdasarkan aromanya, salah satunya dengan *electronic nose sensor array*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan alternatif dalam deteksi aroma kakao terfermentasi menggunakan *electronic nose sensor array*.

Penelitian ini menggunakan sensor gas yang terdiri dari 5 sensor yaitu MQ-2, MQ-3, MQ-6, MQ-7 dan MQ-135. Sensor gas tersebut disusun secara *array* pada akrilik dan diuji pola sinyalnya menggunakan sampel Kakao Lindak Kendeng Lembu. Sampel kakao yang digunakan merupakan kakao yang telah terfermentasi yang terdiri dari empat sampel : mutu I, mutu II, mutu III, dan sampel dari petani. Selain itu juga menggunakan satu sampel kakao dari home industri. Kelima sensor gas dihubungkan dengan arduino yang telah

dihubungkan dengan *personal computer* melalui program *LabVIEW* 2012.

Hasil pengukuran pola respon sensor terhadap empat jenis mutu kakao terfermentasi yang digunakan sebagai sampel pada penelitian ini yaitu memiliki pola yang berbeda-beda. Perbedaan ini disebabkan adanya perbedaan voltase yang dihasilkan dari lima sensor yang digunakan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa *electronic nose array sensor* dapat membedakan 4 kelompok mutu kakao berdasarkan aromanya (mutu I, mutu II, mutu III dan sampel dari petani).

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu analisis PCA (*principal component analysis*) untuk mengklasifikasikan pola respon aroma kakao. Hasil analisis PCA menunjukkan bahwa sampel kakao diklasifikasikan menjadi 4 kelompok. Hasil tersebut menunjukkan bahwa keempat sampel kakao terfermentasi memiliki karakter aroma yang berbeda-beda, sehingga terletak pada posisi kuadran yang berbeda-beda untuk setiap sampel kakao. Total akumulasi yang dihasilkan berdasarkan hasil analisis PCA yaitu sebesar 94,28%. Hasil tersebut menyatakan bahwa sebesar 94,28% dari total varian data dapat diklasifikasikan, sedangkan sisanya sebesar 5,72% belum dapat diklasifikasikan.

Ditinjau dari analisis menggunakan *Diskriminant Analysis* (DA) dengan aplikasi *XLSTAT* 2018 menghasilkan keragaman total yaitu sebesar 99,03%. Keragaman total yang dihasilkan mempresentasikan sebesar 99,03% ini dianggap cukup untuk melihat keakuratan data. Berdasarkan hasil pengujian, *Discriminant Analysis* dapat mengidentifikasi sampel dengan tingkat akurasi 96,43% dengan nilai presisi 96% sehingga klasifikasi mutu kakao dengan *electronic nose* menggunakan *Discriminant Analysis* telah berhasil dilakukan. Seluruh sampel biji kakao terfermentasi dapat diklasifikasi dengan baik oleh *Discriminant Analysis*.

PRAKATA

Alhamdulillah Segala puji syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Karakterisasi Mutu Biji Kakao (Lindak) Terfermentasi Berbasis Aroma Menggunakan *Electronic Nose*” dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan program sarjana strata satu (S1) pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan moril maupun materil dari berbagai pihak, sehingga penulis ingin mengucapkan terima kasih dengan tulus kepada:

1. Drs. Achmad Sjaifullah, M.Sc., Ph.D, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
2. Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si, selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
3. Tri Mulyono, S.Si.,M.Si selaku Dosen Pembimbing Utama dan Drs. Zulfikar, Ph.D selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran, serta doa dan membimbing dengan penuh kesabaran dalam penulisan skripsi ini;
4. Drs. Sudarko, Ph.D. selaku Dosen Penguji I dan Drs. Siswoyo, M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktunya guna menguji serta memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
5. Drs. Sudarko, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama menjadi mahasiswa;
6. Kepala Laboratorium Kimia Analitik, Kepala Laboratorium Kimia Fisik, Kepala Laboratorium Kimia Organik, Kepala Laboratorium;
7. Segenap dosen pengajar Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan;
8. Seluruh teknisi laboratorium Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;

Penulis berharap setiap kalimat dalam skripsi ini dapat bermanfaat terhadap perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang kimia.

Jember, November 2020

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tanaman Kakao	6
2.2 Jenis-Jenis Kakao	7
2.3 Fermentasi Biji Kakao	8
2.4 Standar Mutu Biji Kakao	13
2.5 Gas Sensor	15
2.5.1 Definisi.....	15
2.5.2 Prinsip Kerja Gas Sensor.....	17
2.6 Jenis – Jenis Sensor Gas	19
2.6.1 Sensor MQ-3.....	20
2.6.2 Sensor MQ-2.....	21

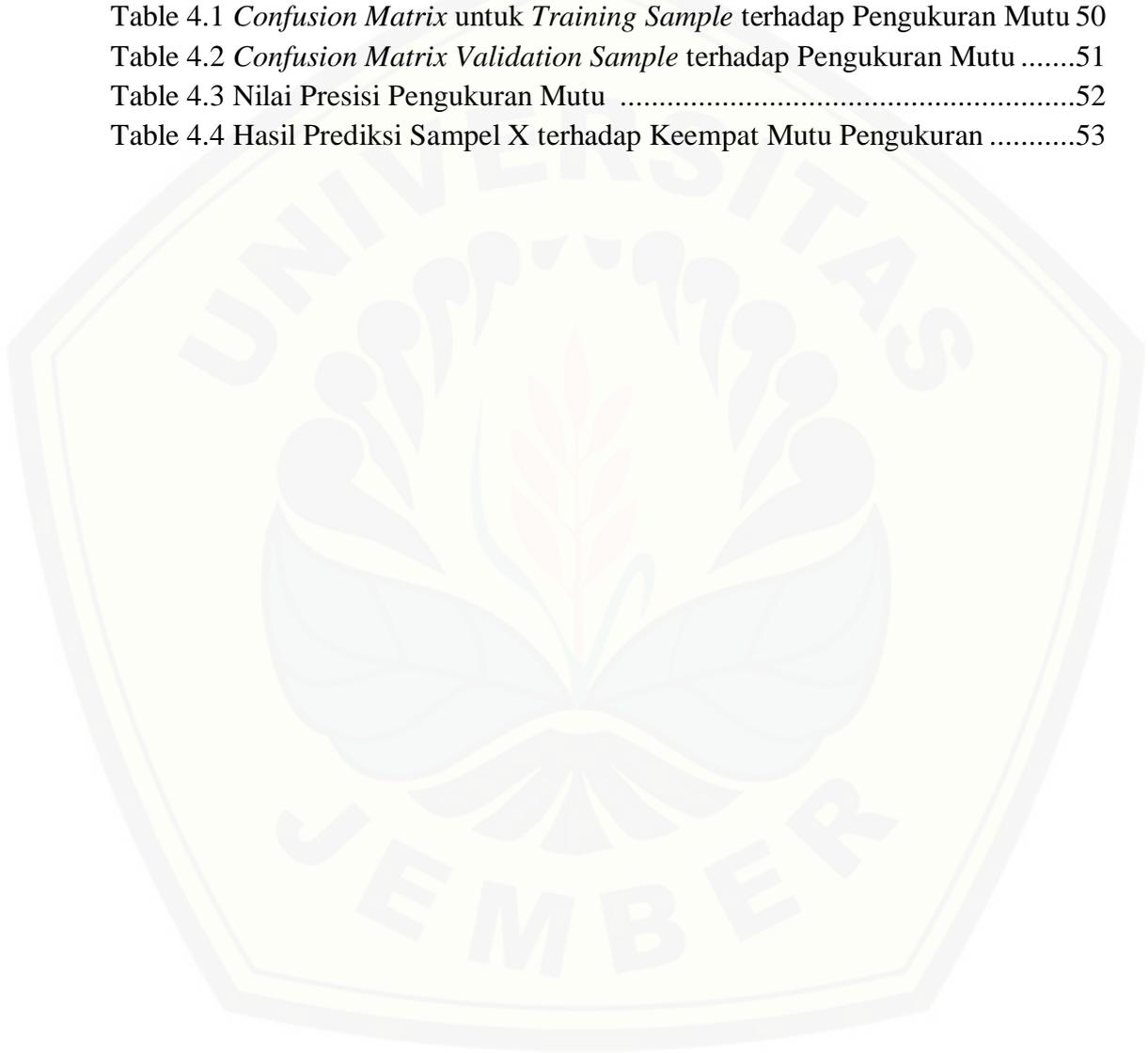
2.6.3 Sensor MQ-7	22
2.6.4 Sensor MQ-6.....	22
2.6.5 Sensor MQ-135	23
2.7 Sensor Array.....	24
2.8 Electronic Nose	25
2.9 Modul Arduino Uno	26
2.10 LabVIEW	27
2.11 Radar Plot.....	28
2.12 Machine Learning	28
2.13 PCA (Principal Component Analysis).....	30
2.14 DA (Discriminant Analysis)	30
2.15 Confusion Matrix	31
2.16 Cross Validation	32
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	33
3.2 Alat dan Bahan.....	33
3.2.1 Alat.....	33
3.2.2 Bahan.....	33
3.3 Skema Kerja	34
3.4 Desain Alat	35
3.5 Prosedur Kerja.....	36
3.5.1 Preparasi Sampel.....	36
3.5.2 Proses Pengukuran	37
3.5.3 Analisis Data.....	38
3.5.4 Skema yang digunakan dalam <i>LabView</i> 2012	39
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Perbandingan Pola Respon Aroma Kakao dari Setiap Mutu	42
4.2 Kinerja Sistem Pengukuran terhadap Mutu Kakao.....	48
BAB 5. PENUTUP	55
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	55

DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	62



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Komponen Pulp Biji Kakao	8
Tabel 2.2 Persyaratan Umum Mutu Biji Kakao	14
Tabel 2.3 Persyaratan Khusus Mutu Biji Kakao	14
Table 4.1 <i>Confusion Matrix</i> untuk <i>Training Sample</i> terhadap Pengukuran Mutu 50	
Table 4.2 <i>Confusion Matrix Validation Sample</i> terhadap Pengukuran Mutu	51
Table 4.3 Nilai Presisi Pengukuran Mutu	52
Table 4.4 Hasil Prediksi Sampel X terhadap Keempat Mutu Pengukuran	53



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Buah Kakao	7
Gambar 2.2 Susunan Dasar Sensor Gas	16
Gambar 2.3 Sensor Gas dari Oksida Logam	17
Gambar 2.4 Model Penghalang antar Butir	18
Gambar 2.5 Sensor MQ-3	21
Gambar 2.6 Sensor MQ-2	21
Gambar 2.7 Karakteristik Sensitifitas dari MQ-2	22
Gambar 2.8 Sensor MQ-7	22
Gambar 2.9 Sensor MQ-6	22
Gambar 2.10 Sensor MQ-135	23
Gambar 2.11 Karakteristik Sensitivitas Sensor MQ-135 untuk beberapa Gas	24
Gambar 2.12 Modul Arduino Uno	27
Gambar 3.1 Susunan Sensor pada Media Akrilik	35
Gambar 3.2 Rancangan Desain Alat	36
Gambar 3.3 Diagram Block <i>Labview Sensor Array</i>	40
Gambar 4.1 Sinyal Pola Respon Kelima Sensor terhadap <i>Baseline</i> dan Sampel Kakao Mutu III	43
Gambar 4.2 Perbandingan Pola Gas <i>Sensor Array</i> terhadap Aroma Kakao Terfermentasi	45
Gambar 4.3 Hasil Analisis PCA terhadap Empat Mutu Biji Kakao terfermentasi dengan XLSTAT	46
Gambar 4.4 Hasil DA terhadap Empat Mutu Biji Kakao Terfermentasi	49

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kakao merupakan salah satu komoditi unggulan di Indonesia. Luas areal perkebunan kakao di Indonesia pada tahun 2017 yaitu 1.709.284 ha. Indonesia negara pemasok utama kakao dunia menduduki peringkat ketiga setelah Pantai Gading dan Ghana (Askindo, 2015). Kabupaten Banyuwangi juga memberikan kontribusi yang cukup besar dalam produksi kakao di Indonesia. Data pada tahun 2017 produksi kakao di Kabupaten Banyuwangi tercatat 7.760 ton dalam satu tahun dengan produktivitas 640 Kg/Ha (Direktorat Jendral Perkebunan, 2015).

Perkembangan areal tanaman kakao cukup pesat di Kecamatan Glenmore Kabupaten Banyuwangi dengan luas wilayah 1.738,10 Hektar, namun perkembangan yang cukup pesat ini tidak diiringi dengan perbaikan kualitas mutu biji kakao. Biji kakao hasil olahan cenderung masih bermutu rendah. Rendahnya kualitas biji kakao terutama disebabkan oleh cara pengolahan yang kurang baik, seperti biji kakao tidak difermentasi ataupun proses fermentasi yang kurang baik.

Kakao (*Theobroma cacao L*) dikenal juga dengan nama coklat. Salah satu jenis buah kakao adalah kakao lindak (Amelonado atau Forastero) atau dikenal dengan nama *bulk cacao*. Secara fisik, ciri dari jenis kakao lindak yaitu hasil panen tinggi, tahan hama dan penyakit, cita rasa yang baik, memiliki kulit buah agak keras tetapi memiliki permukaan yang halus, dan kotiledon berwarna ungu. Kakao lindak merupakan kakao yang banyak diproduksi oleh petani Indonesia. Oleh sebab itu mutu kakao lindak perlu ditingkatkan kualitasnya dan dipertahankan agar mendapat perhatian dari konsumen dunia (Prawoto, 2014). Berdasarkan mutunya, kakao lindak digolongkan dalam 3 jenis, yaitu mutu I, mutu II, dan mutu III. Penentuan mutu kakao selama ini menggunakan *human tester* yang sudah berpengalaman atau dilatih terlebih dahulu (Wahyudi, 2008).

Penentuan kualitas biji kakao dapat ditentukan dari aroma kakao, dimana aroma kakao harus bebas dari bau asap atau bau abnormal dan bau asing lainnya (Lelono, 2017). Aroma kakao biasanya dibedakan secara tradisional tergantung dari indera penciuman manusia, namun seringkali cara tersebut tidak stabil karena

bergantung dari kondisi fisik yang bersangkutan. Penentuan syarat mutu ini dilakukan oleh petugas yang sudah terlatih dengan menggunakan penciuman sebagai instrumennya. Walaupun metode ini lebih realitis namun pada dasarnya memiliki kelemahan seperti bersifat subjektif (Rahmani *et al*, 2018).

Pengembangan suatu *electronic nose array sensor* dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut (Muttalib *et al*, 2012). *Electronic nose array sensor* merupakan suatu rangkaian yang terdiri dari beberapa sensor gas yang akan memberikan reaksi berbeda pada setiap bau atau aroma (Persaud & Dodd, 1982). Sensor gas pada *electronic nose array sensor* tersusun dari sensor-sensor gas semi-konduktor yang dapat mendeteksi aroma kakao. *Electronic nose array sensor* ini terbuat dari metal oksida yang biasanya digunakan pada timah oksida (Persaud & Dodd, 1982). *Electronic nose array sensor* akan memberikan output berupa signal yang berasal dari senyawa pada sampel.

Electronic nose merupakan salah satu instrumen elektronik yang bekerja meniru hidung manusia untuk mendeteksi dan menganalisis aroma. *E-nose* terdiri dari sistem pendistribusian aroma sample, larik sensor, rangkaian elektronik dan software untuk analisis data. *Elektronik nose* yang terdiri atas larik sensor gas kimia yang berfungsi menangkap dan mentransformasikan pola aroma menjadi sinyal-sinyal listrik atau respon sensor terukur yang dapat mengklasifikasi mutu kakao yang diinginkan. Sinyal-sinyal listrik yang dihasilkan tersebut merupakan senyawa-senyawa pembentuk aroma saling tumpang tindih (*overlapping*) yang ditangkap oleh larik sensor dengan masing-masing kepekaan yang berbeda-beda. Sinyal-sinyal listrik berupa respon sensor ini kemudian membentuk pola-pola khusus untuk jenis aroma yang ditangkap. Identifikasi atau klasifikasi pola tersebut tidak dapat dilakukan hanya dengan melihat pola yang dihasilkan secara kuantitatif namun diperlukan analisis lebih lanjut dengan menggunakan mesin pengenalan pola (Rahmani *et al*, 2018).

Kepekaan sensor gas yang digunakan memberikan hasil yang berbeda pada setiap gas atau aroma kakao yang dihasilkan. Gas yang dihasilkan akan mengenai sensor dan memberikan sinyal pada sistem, sehingga akan terjadi perubahan voltase pada sensor. Sinyal yang ditangkap akan diteruskan ke ADC

(*Analog Digital Converter*) yang akan mengkonversi sinyal ke dalam bentuk digital. Sinyal digital akan diteruskan ke PC untuk diolah menggunakan suatu sistem Jaringan Saraf Tiruan (JST).

Penelitian yang dilakukan Juzhong (2019) menunjukkan bahwa jaringan saraf tiruan yang diimplementasikan mampu mengidentifikasi jenis biji kakao. Menurut Juzhong (2019) jaringan saraf tiruan mampu mengenali kualitas biji kakao terfermentasi hingga persentase 90% menggunakan sensor TGS. *Electronic nose* dimanfaatkan sebagai alat penentu kualitas kakao, salah satunya untuk mengidentifikasi aroma kakao dengan analisis Neural network yang tersusun sensor array yang berbasis MOS (*Metal Oxide Sensor*) menggunakan 6 sensor jenis TGS (Olunloyo, 2011). Aplikasi *e-nose* pada kakao juga digunakan untuk mengidentifikasi mutu kakao dari aroma dengan analisis jaringan *fuzzy backpropagation*. Teknik klasifikasi aroma kakao menggunakan sensor yang tersusun secara array berbasis MOS (*Metal Oxide Sensor*) dengan 12 sensor jenis MQ dan TGS (Rahmani *et al*, 2018).

Aplikasi pengembangan perangkat keras *e-nose* telah banyak dilakukan diberbagai bidang seperti pengembangan protokol menggunakan hidung elektronik untuk membedakan strain E. Coli (Alocija, 2003), *e-nose* untuk pemantauan kualitas udara sehari-hari dalam ruangan (Wang, 2016), meningkatkan sensitivitas dan selektivitas sensor gas Metal Oxide dengan mengendalikan polarisasi lapisan sensitif (Dufour, 2012), pemantauan pembusukan makanan dengan hidung elektronik yaitu aplikasi potensial untuk rumah pintar (Chan, 2009), deteksi diabetes pada sampel urin berdasarkan *e-nose* genggam (Sriphrapadang, 2016) dan pengembangan instrumentasi sistem *e-nose* untuk uji teh hitam lokal.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dalam penelitian ini akan dilakukan analisis kualitas biji kakao terfermentasi menggunakan *electronic nose*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik berdasarkan pola respon gas sensor aray terhadap biji kakao terfermentasi dari Glenmore, Kabupaten Banyuwangi menggunakan alat *Electronic nose array sensor*. Sensor yang digunakan yaitu sensor gas MQ-2, MQ-3, MQ-6, MQ-7, dan MQ-135. Pola sinyal yang dihasilkan

akan dibaca oleh software LabVIEW 2012 pada Personal Computer. Fokus pengujian ini diharapkan *electronic nose* dapat membedakan mutu sampel biji kakao.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dituliskan rumusan masalah penelitian ini sebagai berikut:

- 1.2.1 Bagaimana karakteristik pola respon gas sensor array terhadap aroma biji kakao?
- 1.2.2 Bagaimana kinerja sistem pengukuran terhadap mutu kakao terfermentasi?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1.3.1 Untuk mengetahui karakteristik pola respon gas sensor array terhadap aroma biji kakao.
- 1.3.2 Untuk mengetahui kinerja sistem pengukuran terhadap mutu kakao terfermentasi.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah :

- 1.4.1 Sampel biji kakao diperoleh dari produsen Perkebunan Kendeng Lembu Kecamatan Glenmore Kabupaten Banyuwangi.
- 1.4.2 Metode fermentasi yang digunakan pada penelitian ini dengan perlakuan waktu fermentasi berdasarkan standar mutu SNI biji kakao SNI 2323-2008.
- 1.4.3 Terdapat 5 jenis sensor yang digunakan untuk mendeteksi gas, yaitu MQ 2, MQ 3, MQ 6, MQ 7 dan MQ 135.
- 1.4.4 Susunan sensor yang digunakan sesuai dengan metode penelitian.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dalam deteksi aroma biji kakao terfermentasi menggunakan *gas sensor array* dengan sensor gas MQ 2, MQ 3, MQ 6, MQ 7 serta MQ 135, dan metode klasifikasi menggunakan *Discriminant Analysis*.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Kakao (*Theobroma cacao* L.)

Tanaman kakao digolongkan menjadi kelompok tanaman *Caulifloris*. Tanaman *Caulifloris* adalah tanaman yang berbunga dan berbuah pada cabang dan batang. Kakao merupakan tumbuhan dengan ketinggian 10 m, namun dalam pembudidayaan tingginya dibuat tidak lebih dari 5 m dengan tajuk menyamping yang meluas. Buah kakao tumbuh dari bunga yang diserbuki. Ukuran buah kakao jauh lebih besar dari bunganya dan berbentuk bulat hingga memanjang. Warna buah akan berubah seiring tingkat kematangan buah. Kulit luar buah ketika sudah masak biasanya berwarna kuning. Tanaman kakao secara garis besarnya dapat dibagi atas dua bagian, yaitu bagian vegetatif yang meliputi akar, batang serta daun dan bagian generatif yang meliputi bunga dan buah.

Klasifikasi tanaman kakao menurut Wahyudi *et al*, (2008) adalah sebagai berikut:

- Divisi : *Spermatophyta*
Anak divisi : *Angiospermae*
Kelas : *Dicotyledoneae*
Bangsa : *Malvales*
Famili : *Sterculiaceae*
Genus : *Theobroma*
Spesies : *Theobroma cacao*, L.



Gambar 2.1 Buah kakao (Wahyudi *et al*, 2008)

Kakao dalam setiap buah terdapat sekitar 20-50 butir biji, yang tersusun dalam lima baris dan menyatu pada bagian poros buah. Biji dibungkus oleh daging buah atau pulp yang berwarna putih dan rasanya asam manis. Buah yang sudah matang biji akan terlepas dari kulit buah sehingga akan berbunyi saat diguncang. Biji yang dibungkus oleh daging buah (pulpa) yang berwarna putih rasanya asam manis (Pusat Penelitian Kopi dan Kakao, 2004).

Biji kakao merupakan salah satu komoditi perdagangan yang mempunyai peluang untuk dikembangkan dalam rangka usaha meningkatkan devisa negara serta penghasilan petani kakao. Produksi biji kakao di Indonesia secara signifikan terus meningkat, namun mutu yang dihasilkan sangat rendah dan beragam, antara lain kurang terfermentasi, tidak cukup kering, ukuran biji tidak seragam, kadar kulit tinggi, keasaman tinggi, cita rasa sangat beragam dan tidak konsisten (Haryadi *et al*, 2001). Komposisi pulp kakao disajikan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Komposisi Pulp Biji Kakao

Komponen	Kandungan Rata-rata (%)
Air	80-90
Albuminoid, Astringe, dsb	0,5-0,7
Glukosa	8-13
Sukrosa	0,4-1,0
Pati	-
Asam non-volatil	0,2-0,4
Besi oksida	0,03
Garam-garam	0,4-0,45

Sumber : (Haryadi *et al*, 2001)

2.2 Jenis Jenis Kakao

Tanaman Kakao (*Theobroma cacao*, L.) termasuk famili *Sterculiaceae*. Tanaman ini berasal dari hutan-hutan di daerah Amerika Selatan. Biji kakao dari spesies yang berbeda memiliki karakteristik yang berbeda pula, seperti aroma, rasa, tingkat keasaman dan kualitas mutunya. Jenis kakao yang diketahui terdapat

tiga kelompok besar yaitu *Criollo*, *Forestero*, dan *Trinitario*. Kakao dibagi menjadi 3 macam, yaitu :

- a. Kakao jenis *Criollo*, merupakan varietas yang sangat jarang dibudidayakan karena rentan terhadap penyakit tanaman. Kakao *Criollo* pertumbuhannya kurang kuat, daya hasil lebih rendah daripada *Forestero*, relatif gampang terserang hama dan penyakit, permukaan kulit buah *Criollo* kasar, berbenjol dan alurnya jelas. Kulit *Criollo* tebal tetapi lunak sehingga mudah dipecah. Kadar lemak dalam biji lebih rendah daripada *Forestero* tetapi ukuran bijinya besar, bulat, dan memberikan citarasa khas yang baik. Lama fermentasi bijinya lebih singkat dari tipe *Forestero*. Jenis ini menghasilkan biji coklat yang mutunya sangat baik dan dikenal sebagai: coklat mulia, *fine flavour cocoa*, *choiced cocoa*, *edel cocoa*.
- b. Kakao jenis *Forastero*, Jenis kakao ini menghasilkan biji coklat yang mutunya sedang. Jenis coklat ini berasal dari daerah sekitar Amazon, Brasil, Afrika Barat dan Ekuador.
- c. Jenis *Trinitario*, merupakan campuran atau hibrida dari jenis *criollo* dan *forastero* secara alami, sehingga coklat jenis ini sangat heterogen. Sifat morfologi dan fisiologinya sangat beragam demikian juga daya dan mutu hasilnya.

(Sunanto, 1992).

Kakao berdasarkan tipe populasinya, dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu kakao mulia dan kakao lindak. Kakao mulia merupakan kakao yang berasal dari varietas *criollo* dengan kulit buah berwarna merah. Kakao lindak yang berasal dari varietas *forastero* dengan kulit buah berwarna hijau (Poedjiwidodo,1996)

2.3 Fermentasi Biji Kakao

Fermentasi merupakan tahap paling menentukan dalam proses pengolahan biji kakao. Fermentasi bertujuan untuk membebaskan atau melepaskan biji kakao dari pulp. Proses fermentasi merupakan tahapan biji kakao yang sangat penting untuk menjamin dihasilkannya citarasa maupun aroma coklat yang baik, dapat mengurangi rasa pahit dan sepat serta memperbaiki kenampakan biji. Fermentasi

yang sempurna menentukan cita rasa biji kakao dan produk olahannya, termasuk juga karena buah yang masak serta pengeringan yang baik. Fermentasi yang dilakukan kurang atau tidak sempurna, dihasilkan citarasa khas cokelat yang pahit dan akan timbul biji *slaty*, yaitu biji yang memiliki tekstur seperti keju (Elisabeth, 2007).

Fermentasi biji kakao merupakan suatu proses pengolahan pascapanen yang mempengaruhi mutu biji kakao. Proses ini, terjadi penguraian gula menjadi alkohol yang dilakukan oleh beberapa jenis khamir yang dilanjutkan dengan penguraian alkohol menjadi asam asetat dan asam laktat oleh beberapa jenis bakteri. Proses fermentasi juga berlangsung pembentukan senyawa-senyawa organik yang merupakan senyawa pembentukan aroma pada biji kakao akibat aktivitas mikroorganisme. Mikroorganisme yang berperan dalam proses fermentasi biji kakao yaitu khamir, bakteri asam cuka dan bakteri asam laktat (Ambardini, 2009).

Fermentasi biji kakao akan menghasilkan prekursor cita rasa, mencokelathitkan warna biji, mengurangi rasa pahit, asam, manis dan aroma bunga, meningkatkan aroma kakao dan kacang (*nutty*), dan mengeraskan kulit biji menjadi seperti tempurung. Biji yang tidak difermentasi tidak akan memiliki senyawa prekursor tersebut sehingga cita rasa dan mutu biji sangat rendah (Litbang Surabaya, 2013).

Asam sitrat yang ada dalam proses fermentasi membuat lingkungan di sekitar *pulp* menjadi asam sehingga akan menginisiasi pertumbuhan ragi dan terjadi fermentasi secara *anaerob*. Fermentasi aerob diinisiasi oleh bakteri asam laktat dan bakteri asam asetat. Produk fermentasi yang dihasilkan yaitu etanol, asam laktat, dan asam asetat yang akan berdifusi ke dalam biji dan membuat biji tidak berkecambah.

Aktivitas enzimatis juga terjadi selama proses fermentasi, enzim yang terlibat adalah endoprotease, aminopeptidase, karboksipeptidase, invertase (kotiledon dan *pulp*), polifenol oksidase dan glikosidase. Enzim-enzim tersebut berperan dalam pembentukan prekursor cita rasa dan degradasi pigmen selama fermentasi. Prekursor cita rasa yang berupa asam amino, peptida dan gula

pereduksi akan membentuk komponen cita rasa di bawah reaksi Maillard (reaksi pencoklatan non-enzimatis) selama penyangraian (Litbang Surabaya, 2013).

Fermentasi biji kakao pada dasarnya mempunyai dua tujuan, yaitu untuk menghancurkan lapisan berlendir yang menyelimuti keping biji (*pulp*), dan mengusahakan kondisi untuk terjadinya reaksi dalam keping biji selama proses fermentasi. *Pulp* yang hancur oleh kegiatan mikroorganisme yang berasal dari lingkungan akan lepas dari keping biji hingga keping biji kakao menjadi bersih dan cepat kering setelah dilakukan pencucian. Reaksi kimia dan biokimia dalam keping biji dimaksudkan untuk pembentukan prekursor flavor dan warna (Haerani, 2012).

Menurut Febrianto (2009), ada dua macam proses yang terjadi selama dilakukan fermentasi pada biji kakao yaitu fermentasi eksternal dan fermentasi internal. Fermentasi eksternal adalah fermentasi yang terjadi di luar keping biji kakao dan bertujuan untuk menghilangkan *pulp* dan meniadakan daya hidup dari biji. Fermentasi internal adalah fermentasi yang terjadi dalam keping biji kakao dan bertujuan untuk pembentukan calon pembentukan calon (*flavor*) warna, rasa, aroma, serta menghilangkan rasa pahit.

Fermentasi kakao yang telah selesai biasanya ditandai atau dapat diketahui, antara lain : *pulp* mudah dibersihkan dari kulit biji, kulit biji berwarna coklat, dan bau asam cuka sangat jelas. Biji-biji kakao yang belum cukup mengalami fermentasi warna *pulp*-nya putih, kulit biji alkohol. Fermentasi berfungsi memberi warna dan aroma yang lebih bagus jika dibandingkan kakao yang tanpa fermentasi (Sewet, 2004).

Fermentasi biji kakao berlangsung secara alami oleh mikroba dengan bantuan oksigen dari udara. Proses fermentasi akan berjalan baik jika tersedia cukup oksigen dan akan muncul panas yang merupakan hasil oksidasi senyawa gula di dalam pulpa (lendir). Mikroba memanfaatkan senyawa gula yang ada di dalam pulpa sebagai media tumbuh sehingga lapisan pulpa terurai menjadi cairan yang encer dan keluar lewat lubang-lubang di dasar dan dinding peti fermentasi (Widyotmo *et al*, 2008).

Fermentasi secara tradisional terbagi menjadi 3 kelompok, diantaranya yaitu : fermentasi dengan menggunakan keranjang, fermentasi dengan penimbunan diatas permukaan tanah yang dialasi daun pisang, dan fermentasi dengan menggunakan kotak kayu. Penggunaan kota kayu sebagai wadah fermentasi memberikan kualitas biji kakao yang lebih baik dari dua cara fermentasi tradisional lainnya (Hatmi *et al.*, 2012).

Fermentasi dilakukan dengan memasukkan biji kakao ke dalam peti fermentasi dan ditutup. Fermentasi berlangsung selama 5-7 hari untuk kakao lindak dan 3-4 hari untuk kakao mulia. Selama fermentasi dilakukan pengadukan agar proses fermentasi berjalan merata (Soenaryo *et al.*, 1978).

Peningkatan mutu biji kakao selama proses fermentasi berhubungan erat dengan panas yang dihasilkan. Panas menyebabkan suhu biji meningkat secara bertahap dari 45°C - 60°C sehingga mempercepat terbentuknya asam dari pulp. Kerja zat-zat racun mematikan biji tanpa merusak kegiatan enzim yang ada dalam biji sehingga proses-proses enzimatik untuk membentuk aroma, rasa dan warna dapat terus berlangsung (Poedjiwidododo, 1996).

Biji kakao tanpa atau kurang fermentasi biasanya memiliki citarasa coklat yang sangat rendah atau rasa pahit dan biji yang slaty, umumnya dihasilkan dari proses fermentasi yang terlalu singkat (kurang dari 3 hari). Produk dari proses fermentasi yang terlalu lama (lebih dari 5 hari) akan menghasilkan biji kakao dengan kualitas rendah seperti biji rapuh dan berbau kurang sedap atau kadang berjamur. Biji kakao berjamur atau hitam tidak memiliki citarasa coklat yang baik. Biji dengan waktu fermentasi tepat 5 hari mempunyai warna belahan coklat agak tua dan tekstur berongga, sehingga akan menghasilkan rasa dan aroma khas coklat (Widyotmo *et al.*, 2008).

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam proses fermentasi adalah sebagai berikut:

a. Jumlah biji

Jumlah biji minimum yang baik untuk fermentasi adalah 10 kg dengan menggunakan kotak fermentasi berukuran (40 x 40 x 20) cm. Bila jumlah biji

20-60 kg fermentasi masih dapat dilakukan dengan menggunakan kotak kecil yang tingginya tidak kurang dari 20 cm (Poedjiwidodo, 1996).

b. Tempat fermentasi

Tempat fermentasi secara tradisional dapat berupa keranjang bambu yang diberi lapisan daun pisang dan bagian atasnya ditutup dengan goni. Tempat yang biasanya digunakan untuk fermentasi biji kakao berupa kotak kayu dengan bermacam-macam ukuran, tergantung jumlah biji yang akan difermentasi. Kotak fermentasi yang terlalu dalam akan menyebabkan proses fermentasi hanya terjadi pada bagian atas saja. Setiap sisi kotak pada peti fermentasi bagian dalam dilubangi dengan jarak yang sama dari setiap titik lubang. Lubang tersebut untuk tempat keluar masuknya udara yang terdapat dalam kedua dinding tersebut sehingga panas yang diperlukan selama proses fermentasi dapat terkendali (Poedjiwidodo, 1996).

c. Tebal lapisan biji dan pengadukan

Suhu optimal dalam proses fermentasi adalah 48°C - 50°C. Suhu optimal tersebut diperoleh dengan ketebalan biji tertentu. Fermentasi skala kecil (<100 kg) dengan metode sime-cadbury ketebalan biji antara 20-30 cm. Ketebalan yang lebih dari 30 cm menyebabkan suhu bagian tengah terlalu tinggi, karena aerasi udara kurang sehingga kegiatan mikroorganisme terganggu. Ketebalan biji terlalu tipis maka tidak dapat tercapai suhu optimal untuk fermentasi. Suhu yang tidak optimal untuk fermentasi akan menyebabkan fermentasi tidak berjalan sempurna (Poedjiwidodo, 1996). Proses pembalikan pada saat fermentasi harus dilakukan setelah 48 jam. Hal ini untuk diperolehnya keseragaman fermentasi biji kakao. Biji kakao yang tidak dibalik saat difermentasi, maka biji kakao yang ditengah dihasilkan panas optimum sehingga fermentasi maksimal, sedangkan yang diatas, di bawah dan samping akan berakibat sebaliknya (Hatmi *et al.*, 2012)

Pengadukan biasanya dilakukan 2 atau 3 kali tergantung tebal lapisan biji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa untuk mendapatkan fermentasi yang optimal dilakukan pengadukan pada 12 jam pertama, kemudian setiap 2 hari sekali selama 6 hari. Pengadukan yang hanya dilakukan sekali akan menyebabkan tumbuhnya jamur pada bagian lapisan atas yang dapat mengakibatkan slaty. Pengadukan yang

berlebihan akan menyebabkan kulit biji berwarna gelap, biji tengik, dan rapuh. Biji yang difermentasi penuh ditandai dengan adanya warna coklat gelap pada 80% kulit luar biji, lendir yang melekat pada biji mudah dilepas (Poedjiwidodo, 1996).

d. Lamanya fermentasi

Fermentasi merupakan kunci keberhasilan pengolahan biji kakao, maka waktu fermentasi harus tepat agar mendapatkan hasil yang baik. Waktu fermentasi yang terlalu cepat akan menghasilkan biji kakao bermutu rendah yaitu biji *slaty*, biji yang teksturnya seperti keju. Sedangkan bila terlalu lama akan diperoleh biji yang rapuh dan timbul citarasa yang tidak baik, tetapi pada umumnya lama fermentasi sekitar 5-7 hari (Poedjiwidodo, 1996).

2.4 Standart Mutu Biji Kakao

Kakao dapat menghasilkan beberapa produk baik yang berasal dari kulit, pulp maupun dari biji. Kulit kakao dapat dijadikan kompos, pakan ternak, substrat budidaya jamur, ekstraksi theobromin, dan bahan bakar. Biji kakao dapat diolah menjadi tiga olahan akhir, yaitu lemak kakao, bubuk kakao dan permen atau makanan coklat yang dalam pengolahannya saling tergantung satu dengan yang lainnya (Wahyudi *et al*, 2008).

Tahapan-tahapan dalam penanganan pasca panen kakao meliputi pemetikan, pengupasan atau pemecahan kulit buah, fermentasi, perendaman dan pencucian, pengeringan dan penyimpanan merupakan tahapan penting dalam pengolahan untuk memperoleh biji kakao yang bermutu baik (Siswoputranto, 1985). Biji kakao yang tidak difermentasi warnanya lebih pucat bila dibandingkan dengan biji yang difermentasi. Biji yang tidak mengalami fermentasi warnanya keunguan, sedangkan yang mengalami fermentasi yang sempurna dapat dilihat dari warnanya coklat bukan ungu (Nuraeni, 1995).

Standar mutu biji kakao Indonesia terbagi atas dua persyaratan yaitu, persyaratan umum dan persyaratan khusus yang diatur dalam standar nasional indonesia biji kakao sebagaimana tertera pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Persyaratan Umum Mutu Biji Kakao

No.	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
1.	Serangga hidup	-	Tidak ada
2.	Kadar air (b/b)	% fraksi massa	Maks. 7,5
3.	Biji berbau asap atau <i>hammy</i> atau berbau asing	-	Tidak ada
4.	Kadar benda asing	-	Tidak ada

(Sumber: SNI 2323:2008, 2008)

Persyaratan khusus mutu biji kakao menurut Badan Standarisasi Nasional (2008) dapat dilihat pada tabel 2.3, sebagai berikut :

Tabel 2.3 Persyaratan Khusus Mutu Biji Kakao

Jenis Mutu		Persyaratan				
Kakao Mulia (Fine Cocoa)	Kakao Lindak (Bulk Cocoa)	Kadar biji berjamur (biji/biji)	Kadar biji slaty (biji/biji)	Kadar biji berserangga (biji/biji)	Kadar kotoran waste (biji/biji)	Kadar biji berkecambah (biji/biji)
I-F	I-B	Maks.2	Maks.3	Maks.1	Maks. 1.5	Maks. 2
II- F	II-B	Maks.4	Maks.8	Maks.2	Maks. 2,0	Maks. 2
III-F	III-B	Maks.4	Maks. 20	Maks.2	Maks. 3,0	Maks. 3

(Sumber: SNI 2323:2008, 2008)

Keterangan:

I : biji kakao mutu I

II : biji kakao mutu II

III : biji kakao mutu III

F : Fine cacao (kakao mulia)

B : Bulk cacao (kakao lindak)

Biji kakao kering menurut persyaratan mutunya, terbagi menjadi 3 kelas, yaitu mutu kelas I, II, dan III, dengan ketentuan telah memenuhi persyaratan umum dan khusus. Persyaratan umum dan khusus biji kakao kering tercantum dalam Tabel 2.2 dan Tabel 2.3. Mutu biji kakao yang didapatkan harus memenuhi standart, maka setiap tahapan proses pengawasan dan kontrol mutu biji kakao harus

diawasi secara teratur agar pada saat terjadi penyimpangan terhadap mutu biji kakao dapat segera diperbaiki (Hatmi *et al*, 2012).

2.5 Gas Sensor

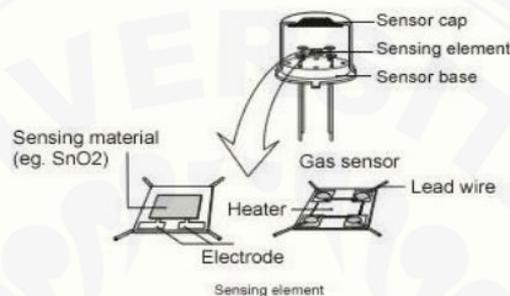
2.5.1 Definisi

Sensor merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi suatu besaran fisik menjadi besaran listrik yang nantinya dapat dianalisa menggunakan rangkaian listrik tertentu. Peralatan elektronik hampir semuanya mengandung sensor di dalamnya. Sensor adalah salah satu komponen dari transduser yang memiliki fungsi untuk mensensing yaitu dapat menangkap dan merasakan perubahan energi yang terjadi. Energi yang ditangkap kemudian menuju ke dalam input dari transduser. Hal ini menyebabkan terjadinya kapasitas energi mengalami perubahan, hasil yang diperoleh segera ditransfer ke bagian konvertor transduser untuk diubah menjadi energi listrik (Dedy, 2001).

Gas sensor merupakan suatu sensor yang dapat mendeteksi suatu komponen gas secara spesifik. Gas sensor sudah banyak dikembangkan saat ini sehingga terdapat beberapa jenis sensor berdasarkan material dan tujuan pembuatannya. Jumlah sensor yang ada saat ini telah meningkat pesat. Alat ini banyak digunakan di beberapa industri seperti industri makanan. Alat ini dapat mendeteksi senyawa volatil pada makanan. Gas sensor juga memiliki fungsi lain yaitu sebagai alat pendeteksi racun untuk beberapa industri. Gas-gas berbau asam mengganggu yang sering ditemukan dalam kehidupan sehari-hari seperti H_2S dan NH_3 serta gas-gas berbahaya yang digunakan untuk proses industri seperti AsH_3 dan PH_3 dapat dideteksi dengan sensor gas (Sberveglieri, 1992).

Sensor gas yang ada perlu didesain agar dapat memenuhi kebutuhan dalam dunia industri. Sensor gas secara umum harus memiliki dua fungsi dasar, yaitu fungsi untuk mengenali suatu spesies gas tertentu (fungsi reseptor) dan yang lain untuk mentransformasikan pengenalan gas ke dalam sinyal penginderaan. Proses pengenalan gas pada sensor dalam beberapa kasus biasanya terjadi ketika adanya interaksi gas-padat seperti adsorpsi, reaksi kimia dan reaksi elektrokimia. Cara transduksi sendiri sangat bergantung pada bahan yang digunakan untuk mengenal

gas. Fungsi reseptor dan transduser tidak selalu dipisahkan secara eksplisit di beberapa sensor seperti sensor yang menggunakan oksida semikonduktor atau elektrolit padat. Pengenalan gas oleh oksida semikonduktor secara mudah ditransduksi menjadi sinyal pengindraan melalui material dielektrik listrik. Gaya elektromotif, frekuensi resonansi, penyerapan atau emisi optik, dll juga dapat digunakan untuk mengasumsikan sinyal untuk jenis material sensor lainnya (Sberveglieri,1992).



Gambar 2.2 Susunan Dasar Sensor Gas (Sumber: Rabersyah, 2016)

Gambar 2.2 menunjukkan bahwa sensor gas tersusun dari beberapa bagian diantaranya yaitu sensor, dasar sensor dan tudung sensor. Sensor terbuat dari bermacam-macam bahan sesuai dengan apa yang akan dideteksinya. misalnya dari timah oksida, wolfram oksida dan yang lainnya. Bahan yang digunakan sebagai detektor berbahan dasar metal oksida (Rabersyah, 2016).

Kinerja dari metode penginderaan gas sensor dapat dievaluasi menggunakan beberapa indikator, indikator yang harus dipertimbangkan antara lain:

1. Sensitivitas merupakan nilai minimum konsentrasi volume gas target saat gas tersebut dapat dideteksi.
2. Selektivitas adalah kemampuan sensor gas untuk mengidentifikasi gas tertentu di antara campuran gas.
3. Waktu respon adalah periode dari ketika konsentrasi gas mencapai nilai tertentu dan sensor menghasilkan sinyal atau output.
4. Konsumsi energi
5. Reversibilitas adalah apakah suatu penginderaan bahan dapat kembali ke kondisi semula setelah di deteksi.

6. Kapasitas adsorptif juga mempengaruhi sensitivitas dan selektivitas.

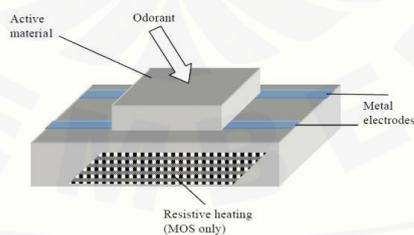
Sensor gas yang akan digunakan harus memiliki stabilitas yang baik. Gas sensor harus menghasilkan sinyal yang stabil dan dapat diproduksi dalam jangka waktu tertentu. Kinerja suatu sensor dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu :

1. Desain sensor.
2. Perubahan struktural.
3. Pergeseran fasa, yang biasanya mengacu pada segregasi aditif yang didoping dengan bahan penginderaan.
4. Variasi lingkungan sekitarnya.

(Jati, 2012).

2.5.2 Prinsip Kerja Gas Sensor

Sensor gas dapat dibuat dari logam oksida. Logam oksida yang biasanya digunakan dalam gas sensor adalah timah, seng, titanium, tungsten, iridium, dan campuran logam yang memungkinkan. Material logam tersebut memiliki sifat semikonduktor. Sensor dari logam timah (SnO_2) lebih diminati karena memiliki beberapa kelebihan. Logam oksida tersebut dapat dibuat berukuran sangat kecil (nano), murah dan memiliki reaktivitas yang tinggi terhadap gas sehingga sensitivitasnya juga tinggi (Asrorudin, 2009). Susunan komponen sensor gas dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sensor Gas dari Oksida Logam (Sumber:Alam, 2015)

Gambar 2.3 menunjukkan bagian-bagian dari gas sensor *Metal oxide sensor* (MOS), bahan semi konduktor (oksida logam) berada di dasar atau bagian bawah dari sensor tepatnya diantara elektroda logam dan elemen pemanas. Permukaan logam tersebut merupakan tempat reaksi redoks terjadi (Alam, 2015). Komponen sensor yang ada akan mendeteksi senyawa volatil pada analit yang telah menguap

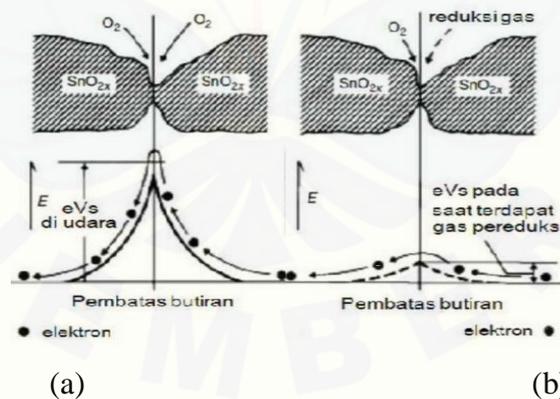
menjadi gas. Permukaan elemen sensor yang terbuat dari oksida logam akan mengabsorb gas tersebut sehingga gas akan mengalami disosiasi menjadi ion atau kompleks bermuatan. Konduktivitas pada material sensor akan mengalami perubahan akibat adanya transfer elektron sehingga sinyal akan terbaca oleh sensor (Asrorudin, 2009).

Reaksi yang terjadi pada peristiwa ini merupakan reaksi redoks (reduksi-oksidasi). Persamaan reaksi yang terjadi yaitu :



(Supriatiningsih *et al.*, 2011).

Oksigen akan mengkemisorpsi permukaan oksida logam dan akan terjadi transfer elektron dari pita konduksi sehingga oksigen dapat berubah menjadi O^{2-} (323 K), O_2^{-} (373 K) dan O^{3-} (723 K). Hal ini dapat menyebabkan terjadinya perbedaan potensial pada permukaan sensor sehingga menyebabkan resistifitas sensor meningkat. Interaksi antara logam oksida, gas oksigen dan senyawa target akan berlangsung pada suhu yang tinggi dipengaruhi oleh jenis gasnya. Berikut ini merupakan gambar keadaan sensor tanpa gas dan dalam lingkungan gas :



a. Keadaan tanpa gas ; b. keadaan dalam lingkungan gas

Gambar 2.4 Model Penghalang antar Butir (Sumber: Oktorizal, 2010)

Gambar 2.4 menunjukkan bahwa ketika permukaan kristal oksida logam berada dalam keadaan tanpa gas menyebabkan terbentuknya lapisan penghalang sehingga membuat sensor resistif dan ketika ada gas pereduksi akan membuat lapisan

penghalang berkurang sehingga akan meningkatkan konduktivitas sensor (Oktorizal, 2010)

Reaksi reduksi oksidasi memiliki keterkaitan terhadap persamaan Nerst. Persamaan Nerst dapat digunakan untuk menghitung nilai E sebagai fungsi dari konsentrasi reaktan dan konsentrasi produk. Persamaan Nerst dapat dituliskan dengan rumus :

$$\Delta G^{\circ} = -nFE^{\circ} \dots\dots\dots 2.3$$

$$\Delta G^{\circ} = RT \ln K \dots\dots\dots 2.4$$

Keterangan :

ΔG° = energi bebas gibbs

n = mol elektron yang terlibat dalam reaksi

E° = tegangan

R = ketetapan gas ideal

K = konstanta kesetimbangan

Nilai energi bebas gibbs (ΔG°) yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengetahui berjalannya suatu reaksi. Reaksi akan berlangsung secara spontan apabila nilai dari ΔG° kurang dari 0 (nol) atau harga dari E lebih dari 0 (Day dan Underwood, 2002).

2.6 Jenis-Jenis Gas Sensor

Penentuan mutu kakao dapat ditentukan dari aroma kakao, dimana aroma kakao harus bebas dari bau asap dan atau bau abnormal dan atau bau asing lainnya sedangkan penentuan syarat mutu kakao dilakukan oleh petugas yang sudah terlatih dengan menggunakan penciuman sebagai instrumennya. Metode lain melalui pendekatan aroma untuk mengklasifikasikan mutu kakao, sehingga untuk dapat merealisasikan hal tersebut diperlukan sebuah instrumen yang dapat mentransformasikan pola aroma menjadi sinyal-sinyal listrik terukur yang dapat mengklasifikasi mutu kakao yang diinginkan. Pola aroma menjadi sinyal tersebut dapat dideteksi dengan menggunakan gas sensor (Zhao *et al*, 2015).

Aroma kakao biasanya dibedakan secara tradisional tergantung dari indera penciuman manusia, namun seringkali cara tersebut tidak stabil karena bergantung

dari kondisi fisik yang bersangkutan. Pengembangan suatu *electronic nose array sensor* dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut. *Electronic nose array sensor* merupakan suatu rangkaian yang terdiri dari beberapa sensor gas yang akan memberikan reaksi berbeda pada setiap bau atau aroma (Rahayoe et al ,2007). Sensor gas pada *electronic nose array sensor* tersusun dari sensor-sensor gas semi-konduktor yang dapat mendeteksi aroma coklat. *Electronic nose array sensor* akan memberikan output berupa signal yang berasal dari senyawa pada sampel.

Gas sensor yang dapat digunakan dalam proses pengukuran adalah MQ-2, MQ-3, MQ-6, MQ-7, dan MQ-135. Gas sensor tersebut merupakan salah satu produksi dari Winsen *electronic*. Pengukuran yang dilakukan dengan gas sensor tersebut akan mengakibatkan perubahan konduktivitas pada material sensor selama proses pengukuran. Konduktivitas yang diperoleh akan diolah menjadi suatu data yang berisikan nilai resistensi pengukuran. Gas sensor ini merupakan jenis sensor oksida logam. Oksida logam yang digunakan pada sensor ini adalah tin dioksida (SnO_2). Alat ini dilengkapi dengan elektroda serta pemanas. Pemanas pada sensor berfungsi sebagai komponen yang sensitif. Gas sensor jenis ini cukup tahan terhadap panas dan beberapa senyawa yang dapat mengakibatkan karat pada sensor karena adanya jaring baja anti karat. Alat ini memiliki 6 pin dimana 4 pin yang ada digunakan untuk mendapatkan sinyal dan 2 pin yang lain sebagai penyedia arus pemanas (Winsen, 2013).

Gas sensor terdiri dari macam-macam jenis diantaranya yaitu :

2.6.1 Sensor MQ-3

Gas sensor MQ-3 merupakan jenis sensor yang sensitif terhadap senyawa alkohol, sedikit sensitif terhadap benzena dan tahan terhadap bensin dan asap. Sensor MQ-3 dapat mendeteksi alkohol dalam konsentrasi yang berbeda-beda (Winsen, 2013). Sensor gas MQ-3 tahan terhadap lingkungan pada kelembapan suhu 20°C (Datasheet sensor, 2018). Sensor jenis MQ-3 mempunyai nilai resistensi R_s . Nilai ini dapat berubah apabila sensor mendeteksi gas metana (CH_4) atau alkohol di udara. Sensor MQ-3 memiliki rangkaian yang tersusun dari 1 buah

variabel resistor pin H yang digabungkan pada tegangan (V). Modul sensor gas MQ-3 dapat ditunjukkan pada Gambar 2.5 sebagai berikut :



Gambar 2.5 Sensor MQ-3(Sumber: Winsen,2015)

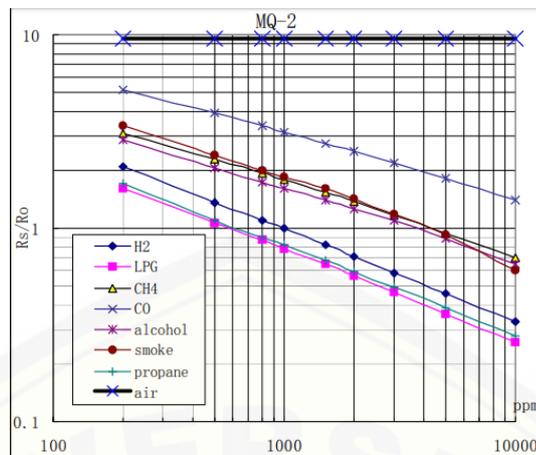
2.6.2 Sensor MQ-2

Sensor MQ-2 bersifat sensitif pada senyawa propana, hidrogen, LPG, karbon monoksida (CO), metana (CH₄) serta alkohol. Kesensitivan dari sensor MQ-2 dapat diatur dengan cara memutar trimpotnya. Sensor gas MQ-2 menghasilkan output berupa sinyal analog. Sensor ini dapat digunakan untuk mendeteksi senyawa yang memiliki konsentrasi dari 100 – 10.000 ppm (Sari, 2015). Sensor gas MQ-2 dapat ditunjukkan pada Gambar 2.6 seperti di bawah ini.



Gambar 2.6 Sensor MQ-2 (Sumber: Winsen, 2015)

Biasanya sensor MQ-2 digunakan pada peralatan deteksi kebocoran gas. Nilai resistensi sensor MQ-2 berbeda untuk berbagai jenis dan berbagai konsentrasi gas. Karakteristik sensitifitas terhadap sensor MQ-2 dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Karakteristik Sensitifitas dari MQ-2 (Sumber : Datasheet Sensor, 2018).

2.6.3 Sensor MQ-7

Gas sensor MQ-7 sensitif terhadap senyawa karbon monoksida. Sensor ini memiliki sensitivitas tinggi terhadap karbon monoksida (CO) dan bersifat stabil serta dapat berumur panjang. Sensor ini biasanya digunakan sebagai alat untuk mendeteksi CO dalam industri. Sensor ini dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi gas yang mudah terbakar pada konsentrasi 200 ppm. Modul MQ-7 dapat ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Sensor MQ-7(Sumber: Winsen, 2015)

2.6.4 Sensor MQ-6

Gas sensor MQ-6 memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap LPG, propana, iso-butana, dan sensitivitas yang rendah terhadap alkohol, dan asap (CO dan CO₂). Sensor ini memiliki respon cepat, bersifat stabil dan memiliki umur yang tahan lama (Winsen, 2013). Sensor jenis ini biasanya digunakan untuk mendeteksi kebocoran gas, peralatan rumah tangga dan industri, pendeteksian gas LPG, propana, iso-butana, LNG, alkohol dan asap memasak dan asap rokok. Berikut ini

merupakan konfigurasi dan struktur dari sensor MQ-6. Modul sensor ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Sensor MQ-6(Sumber: Winsen, 2015)

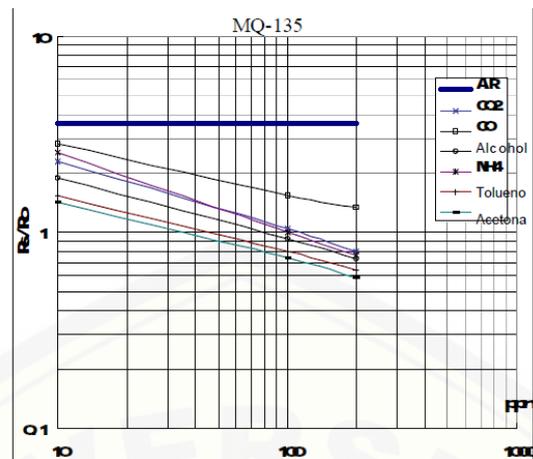
2.6.5 Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 dapat digunakan untuk mendeteksi udara bebas. Sensor ini memiliki sensitivitas terhadap NH_3 , NO_x , CO_2 , sulfida, benzene, asap dan zat yang berbahaya lainnya. Sensor ini terbuat dari bahan semikonduktor yaitu dari bahan timah oksida (SnO_2) (Winsen,2013). Modul sensor MQ-135 dapat ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Sensor MQ-135 (Sumber: Winsen, 2015)

Sensor MQ-135 memiliki nilai resistensi yang berbeda untuk berbagai jenis dan konsentrasi gas. Penyesuaian sensitivitas sangat diperlukan saat menggunakan sensor MQ-135. Kalibrasi detektor untuk konsentrasi 100 ppm NH_3 atau 50 ppm alkohol sangat diperlukan (DatasheetSensor, 2018). Karakteristik sensitivitas sensor MQ-135 untuk beberapa gas dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Karakteristik Sensitivitas Sensor MQ-135 untuk beberapa gas
(Sumber : datasheetsensor, 2018)

2.7 Sensor array

Array dapat didefinisikan sebagai susunan dari suatu benda yang mengikuti suatu aturan tertentu. Sensor array merupakan serangkaian sensor yang digunakan untuk mendapatkan informasi tentang objek yang diuji. Sensor array dalam aplikasi kimia terdiri dari beberapa sensor yang berbeda dengan sensitivitas luas dan deteksi berbagai gas. Sensor gas array digunakan untuk mengubah informasi mengenai campuran gas ultri-komponen menjadi satu set sinyal yang dapat diukur (Szcurek *et al*, 2012).

Sensor-sensor yang digunakan didalam lingkungan kimia memiliki jenis yang berbeda serta sensitivitas yang berbeda pula. *Gas sensor array* digunakan untuk mengkonversi informasi kimia yang berada dalam sampel yang dapat menghasilkan gas dan mengubahnya menjadi sinyal-sinyal yang bisa diukur. Sensor-sensor gas yang digunakan diakses secara individual dan hampir bersamaan. Berdasarkan hal tersebut dalam metode operasinya sensor-sensor ini dapat dipakai sebagai elemen sensor yang independen (Lelono, 2013). Sensor gas array tidak pernah berfungsi sebagai instrumen analitik secara independen. Komponen-komponen penting dari sensor gas array antara lain detektor, alat analisis, monitor (alat yang bekerja sesuai dengan rencana pengambilan sampel sebagai fungsi waktu) atau sistem otomatis untuk pengukuran kontinu secara *real time*. Susunan sensor harus bekerja sama dengan elemen lain dari peralatan

analisis. Berbagai metode digunakan untuk memperoleh karakteristik pengukuran yang memuaskan dari sensor array.

2.8 *Electronic Nose*

Instrumen penangkap aroma yang berkembang pesat beberapa dekade ini dikenal dengan *electronic nose*. *Electronic nose* merupakan salah satu instrumen elektronik yang bekerja meniru hidung manusia untuk mendeteksi dan menganalisis aroma. *E-nose* terdiri dari sistem pendistribusian aroma sample, larik sensor, rangkaian elektronik dan software untuk analisis data. Pada saat ini, implementasi *e-nose* banyak digunakan pada industri makanan seperti, kopi, wine, beer, dan lainnya (Rahman *et al.*, 2018).

E-nose memiliki prinsip kerja yang sama seperti fungsi hidung manusia dimana di dalamnya terdapat berbagai reseptor pengidentifikasi aroma. Sensor yang terdapat dalam *e-nose* akan menggantikan fungsi dari reseptor-reseptor tersebut, dimana tiap reseptor akan memberikan respon yang berbeda dari aroma yang sama (Hendrick, 2010). Respon array yang dihasilkan diproses dengan menggunakan teknik pengenalan pola untuk menghasilkan sinyal output. Sensor individu yang kurang selektif, sehingga sensor array digunakan untuk memungkinkan karakterisasi sampel secara keseluruhan. Perbedaan utama antara hidung alami dan buatan yaitu penciuman manusia membutuhkan fase transisi dari lingkungan gas ke reseptor (Cuypers & Lieberzeit, 2018).

Electronic nose yang terdiri atas larik sensor gas kimia tak selektif berfungsi menangkap dan mentransformasikan aroma menjadi sinyal-sinyal listrik atau respon sensor. Sinyal-sinyal listrik yang dihasilkan ini merupakan senyawa-senyawa pembentuk aroma saling tumpang tindih (*overlapping*) yang ditangkap oleh larik sensor dengan masing-masing kepekaan yang berbeda-beda. Sinyal-sinyal listrik berupa respon sensor ini membentuk pola-pola khusus untuk jenis aroma yang ditangkap. Mengidentifikasi atau mengklasifikasi pola tersebut tidak dapat dilakukan hanya dengan melihat pola yang dihasilkan secara kuantitatif namun diperlukan analisis lebih lanjut dengan menggunakan mesin pengenalan pola (Rahmani *et al.*, 2018).

Persaud (2001) menjelaskan bahwa *gas sensor array* dapat dibuat menggunakan teknologi yang berbeda, menggunakan beberapa cara khusus. Ilmu material merupakan suatu aspek yang penting dari pengembangan sistem. Pengembangan sistem yang dimaksud yaitu *electronic nose*. *E-nose* memiliki beberapa unsur penting diantaranya yaitu *sensor array* yang terkena senyawa volatil, konversi sinyal sensor ke format dapat dibaca, software analisis data untuk memperoleh output karakteristik terhadap aroma atau bau yang terdeteksi. Hasil yang diperoleh dari *sensor array* ini dapat diartikan menggunakan beberapa metode diantaranya analisis fungsi diskriminasi, analisis algoritma pengenalan pola, analisis komponen utama atau PCA, dan analisis jaringan syaraf tiruan (*Backpropagation*) (Persaud, 2005).

2.9 Modul Arduino Uno

Arduino adalah suatu *electronic board* yang didalamnya terdapat mikrokontroler. Mikrokontroler adalah suatu sistem yang memiliki input atau output serta memori dan prosesor. Mikrokontroler memiliki prinsip yaitu sebuah chip komputer yang dapat melakukan suatu perintah secara berulang dan memiliki kemampuan untuk berinteraksi dengan alat-alat eksternal seperti sensor, LED dan yang lainnya. Arduino merupakan produk berbasis Atmel, yaitu microcontroller atmega 328 yang mempunyai PORT sebanyak 3 buah yaitu PORTD, PORTB dan PORTC serta memiliki 32 KB memori ISP flash dengan kemampuan baca-tulis (*read/write*), 1 KB EEPROM dan 2 KB SRAM (Handoko, 2017). Arduino tersusun atas 14 pin digital *input/output*, 6 input analog, sebuah osilator kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB (*Universal Serial Bus*), sebuah power jack, sebuah ICSP (*In Circuit Serial Programming*) header, dan sebuah tombol reset. Arduino merupakan salah satu mikrokontroler yang sering digunakan dibandingkan jenis mikrokontroler yang lain. Arduino memiliki beberapa kelebihan yaitu dapat menyelesaikan project dengan cepat dan dapat meminimalisir kesalahan dalam mengerjakan suatu project. Arduino memiliki bermacam-macam jenis hal ini dapat digolongkan berdasarkan IC, *BOARD*, dan PIN yang dimiliki oleh arduino

tersebut. Arduino jenis Uno merupakan salah satu jenis yang sering digunakan dalam instrumen sensor, modul, *shield*, dan *actuator*.

Penampang Arduino Uno dapat dilihat pada Gambar 2.12. Arduino Uno memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang mikrokontroler dan mudah dihubungkan ke komputer dengan sebuah kabel USB (Sebayang, 2017).



Gambar 2.12 Modul Arduino UNO (Sumber: Sebayang, 2017).

2.10 LabVIEW

LabVIEW merupakan desain sistem *programming* grafik yang memberikan fasilitas untuk komputer dalam mengontrol data yang diperoleh dan analisis. Ide *programming* dalam *LabVIEW* dilakukan dengan memilih dan memperoleh pola grafik yang tepat (Essick, 2016). Menurut Wardoyo *et al.* (2013) software *LabVIEW* terdiri dari tiga komponen utama, yaitu:

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

(Hidayat, 2015).

Block diagram dapat diedit dengan mengklik ikon *windows>>>show block diagram* atau dengan menekan keyboard (Ctrl+E). Penambahan atau

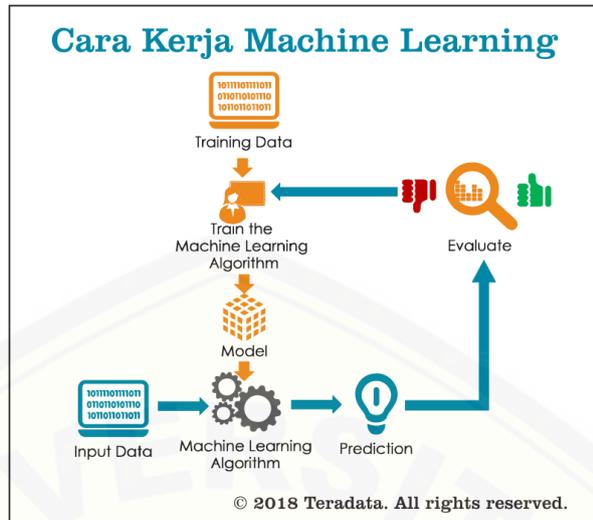
pembangunan *block diagram* perlu dilakukan untuk menyesuaikan kebutuhan kinerja *programming*. Ikon-ikon (menu) yang perlu ditambahkan dapat dilakukan dengan mengklik kanan pada layar kerja sehingga akan muncul beberapa menu. Menu yang diinginkan kemudian diklik dan diletakkan pada posisi yang sesuai dan dihubungkan ikon tersebut dengan ikon yang lainnya dan sehingga membentuk sistem. Waktu penentuan seberapa lama data input (waktu respon) harus dimasukkan dapat diatur dengan mengklik kanan pada jendela kemudian pilih dan klik *timing>>wait until next ms multiple*. Ikon yang terbentuk diletakkan dalam sistem kemudian diatur berapa mili detik waktu respon yang diinginkan. Proses penambahan ikon yang lain juga hampir sama (Essick, 2016).

2.11 Radar Plot

Kepekaan sensor untuk melihat perbandingan pada semua jenis sampel digunakan grafik pola radar sehingga memudahkan untuk menampilkan pola respon sensor yang paling tinggi. Grafik pola radar dibuat berdasarkan hasil rata-rata pengukuran dengan metode *difference*. Metode *difference* digunakan untuk melakukan normalisasi pada siklus pengukuran yaitu dengan mengurangi nilai maksimal dan minimal di setiap puncak, dari hasil tersebut akan dirata-rata sehingga membentuk grafik pola radar terhadap sampel (Rahmani *et al.*, 2018).

2.12 Machine Learning

Machine Learning merupakan salah satu bidang yang termasuk dalam kecerdasan buatan yang dapat mempengaruhi berbagai aspek yang lain yaitu matematika, statistika dan berbagai aspek teoritikal dari komputer sains. Menurut Danukusumo (2017) *Machine learning* adalah serangkaian teknik yang dapat membantu dalam menangani dan memprediksi data yang sangat besar dengan cara mempresentasikan data-data tersebut dengan algoritma pembelajaran (Danukusumo, 2017). *Machine Learning* memiliki tujuan untuk mempelajari sebuah algoritma untuk melakukan sistem belajar secara otomatis dengan kontribusi yang sangat minimal yang dilakukan oleh manusia pada umumnya.



Gambar 2.15 Machine Learning (Pantech, 2018)

Machine learning adalah bidang ilmu komputer yang menggunakan teknik statistika untuk memberikan kemampuan sistem komputer agar dapat belajar dari data (Bedy, 2019).

Machine Learning terbagi menjadi 2 macam konsep pembelajaran, yaitu :

- *Supervised Learning*

Supervised Learning merupakan teknik pembelajaran mesin yang diawasi untuk memaksimalkan pemisahan beberapa kelas yang dilengkapi dengan data berlabel.

- *Unsupervised Learning*

Unsupervised Learning merupakan teknik pembelajaran mesin yang tidak diawasi karena menghindari label kelas untuk memaksimalkan varians dalam kumpulan data. Hasil pembelajaran akan berkelompok sesuai klasifikasi masing-masing data. Output aktual yang dihasilkan pada awal proses akan digunakan sebagai input pada proses berikutnya.

(Bedy, 2019).

Berikut Perbandingan *Supervised Learning* dengan *Unsupervised Learning*.

	<i>Supervised</i>	<i>Unsupervised</i>
Input Data	Labeled data	Unlabeled data
Human	<ul style="list-style-type: none"> • Human experts as the teacher 	<ul style="list-style-type: none"> • No teacher at all

Interaction	<ul style="list-style-type: none"> • Feed the computer with training data containing the input / predictors. • Computers should be able to learn the patters 	<ul style="list-style-type: none"> • Computer might be able to teach us new things after it learns patterns in data
Complexity	Simple	Complex
Accuray	Highly accurate	Less accurate
Problem area	<ul style="list-style-type: none"> • Classification • Regression 	<ul style="list-style-type: none"> • Clustering • Association

(Sumber: Bedy,2019)

2.13 PCA (*Principal Component Analysis*)

PCA adalah teknik yang banyak digunakan untuk aplikasi seperti pengurangan dimensi, ekstraksi fitur, dan visualisasi data (Jolliffe, 2002). PCA atau *Principal Components Analysis* merupakan sistem pengenalan yang tidak diawasi karena menghindari label kelas dan berfokus pada komponen utama untuk memaksimalkan varians dalam kumpulan data. PCA secara teori adalah sebuah metode matematis yang mentransformasikan data ke dalam ranah baru, yang menghasilkan sejumlah *Principal Component* yang lebih penting dibanding lainnya. Tujuan *Principal Components Analysis* adalah memperjelas visualisasi data dan mempermudah analisis data (Suyanto, 2019).

2.14 DA (*Discriminant Analysis*)

Discriminant Analysis merupakan sistem pengenalan yang diawasi untuk memaksimalkan pemisahan antara beberapa kelas. Tujuan dari analisis diskriminan adalah untuk menggambarkan ciri-ciri suatu pengamatan dari bermacam-macam populasi yang diketahui, baik secara grafis maupun aljabar dengan membentuk fungsi diskriminan. Analisis diskriminan digunakan untuk mengklasifikasikan objek ke dalam salah satu dari dua kelompok atau lebih dan dapat digunakan untuk mengetahui seberapa besar terjadi misklasifikasi (Johnson, *et al*, 2007).

Kegunaan dari analisis diskriminan, yaitu: (1) penjelasan (*explanation*) terhadap fenomena yang dipelajari atau permasalahan yang diteliti, (2) prediksi alternatif kategori dari variabel respon berdasarkan nilai variabel prediktor, (3) penentuan variabel prediktor mana yang merupakan pembeda terkuat, (4) pengelompokan objek (Zufa *et al*, 2017).

2.15 Confusion Matrix

Confusion Matrix merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengukur kinerja suatu metode klasifikasi. Pada dasarnya *Confusion Matrix* mengandung informasi yang membandingkan hasil klasifikasi yang dilakukan oleh sistem dengan hasil klasifikasi yang seharusnya. Akurasi paling banyak dimanfaatkan untuk pengujian model pada berbagai permasalahan *machine learning* yang berhubungan dengan klasifikasi (Bedy, 2019).

Nilai akurasi sebuah sistem dapat diperoleh dengan rumus :

$$\text{Akurasi} = \frac{(TP+TN)}{(TP+TN+FP + TN)} \times 100\%$$

Selanjutnya, adalah mengukur presisi dari algoritma yang digunakan dalam proses data mining. Mengukur presisi sebuah algoritma dalam klasifikasi dapat menggunakan rumus :

$$\text{Presisi} = \frac{(TP)}{(TP+FP)} \times 100\%$$

Keterangan :

- *True Positive* (TP) : Jumlah data positif yang terklasifikasi dengan benar oleh sistem
- *False Positive* (FP) : Jumlah data positif namun terklasifikasi salah oleh sistem
- *True Negative* (TN) : Jumlah data negatif yang terklasifikasi dengan benar oleh sistem
- *False Negative* (FN) : Jumlah data negatif namun terklasifikasi salah oleh sistem

2.16 Cross Validation

Cross validation merupakan salah satu teknik validasi model untuk menilai bagaimana hasil statistik analisis akan menggeneralisasi kumpulan data independen. Teknik ini dapat digunakan untuk memprediksikan model dan memperkirakan seberapa akurat sebuah model tersebut ketika diimplementasikan. *Cross validation* juga dapat diartikan sebagai metode statistik yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja algoritma dimana data dipisahkan menjadi dua subset yaitu data training dan data uji (validasi). Algoritma akan dilatih oleh training set dan divalidasi oleh validation set (Bedy Purnama, 2019).

Cross validation dapat digunakan untuk mengetahui *error*. Dalam dunia *machine learning* yang dimaksud dengan *error* adalah kesalahan atau ketidakakuratan dalam memprediksi *ouput* yang terkait dengan klasifikasi (Bedy Purnama, 2019). Teknik ini membagi data menjadi dua, yaitu data training (*training set*) dan data uji. Umumnya porsi data training sebesar 50 % s/d 70 % sedangkan porsi data uji sebesar 30% s/d 50%. Namun tidak ada batasan yang pasti soal pembagian porsi ini. Hanya estimasi saja.



Pemilihan sampel untuk masing-masing subset (*training set dan test set*) dilakukan secara random.

(Bedy Purnama, 2019).

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Jurusan Kimia Universitas Jember dan waktu pelaksanaan pada bulan Juni 2020 sampai September 2020. Pengambilan sampel buah kakao yaitu diperoleh dari Perkebunan Kedeng Lembu Kecamatan Glenmore Kabupaten Banyuwangi Jawa Timur. Kakao yang digunakan merupakan biji kakao terfermentasi dari kebun Kendeng Lembu.

3.2 Alat dan Bahan

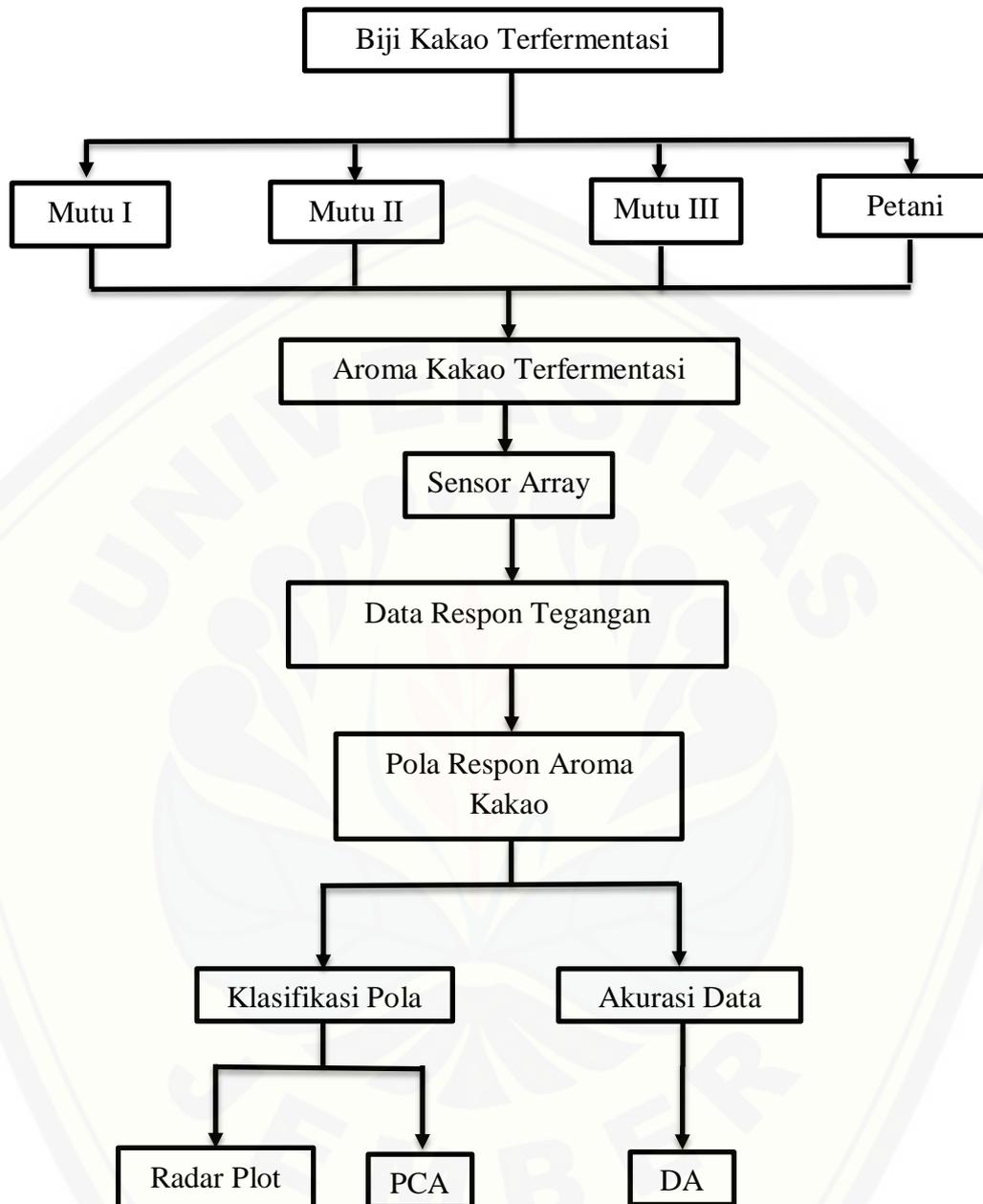
3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian antara lain Laptop Asus yang telah terinstall *software LabVIEW 2012*, XLSTAT 2018 dalam Microsoft Excel, Arduino Uno, kabel jamper, selang, *breadboard*, kabel USB, pompa vakum dan 5 jenis sensor yaitu sensor MQ-3, sensor MQ-7, sensor MQ-6, sensor MQ-2, dan sensor MQ-135.

3.2.2 Bahan

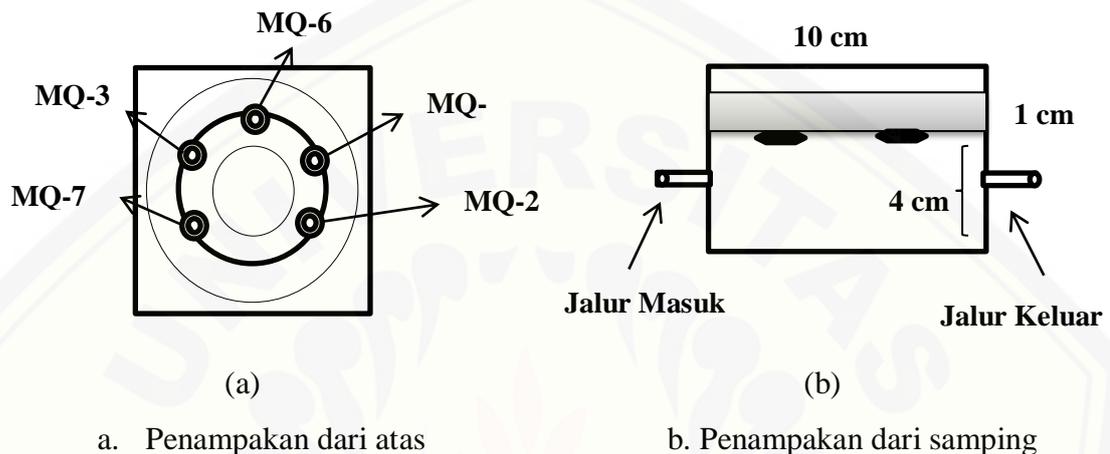
Bahan yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini berupa kakao biji yang diperoleh dari PTPN Kedeng Lembu Banyuwangi Jawa Timur. Sampel kakao dipetik dari hasil panen yang terdiri dari empat sampel: mutu I, mutu II, mutu III dan sampel biji kakao terfermentasi dari petani. Selain itu juga menggunakan satu sampel kakao dari home industri.

3.3 Skema Kerja



3.4 Desain Alat

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

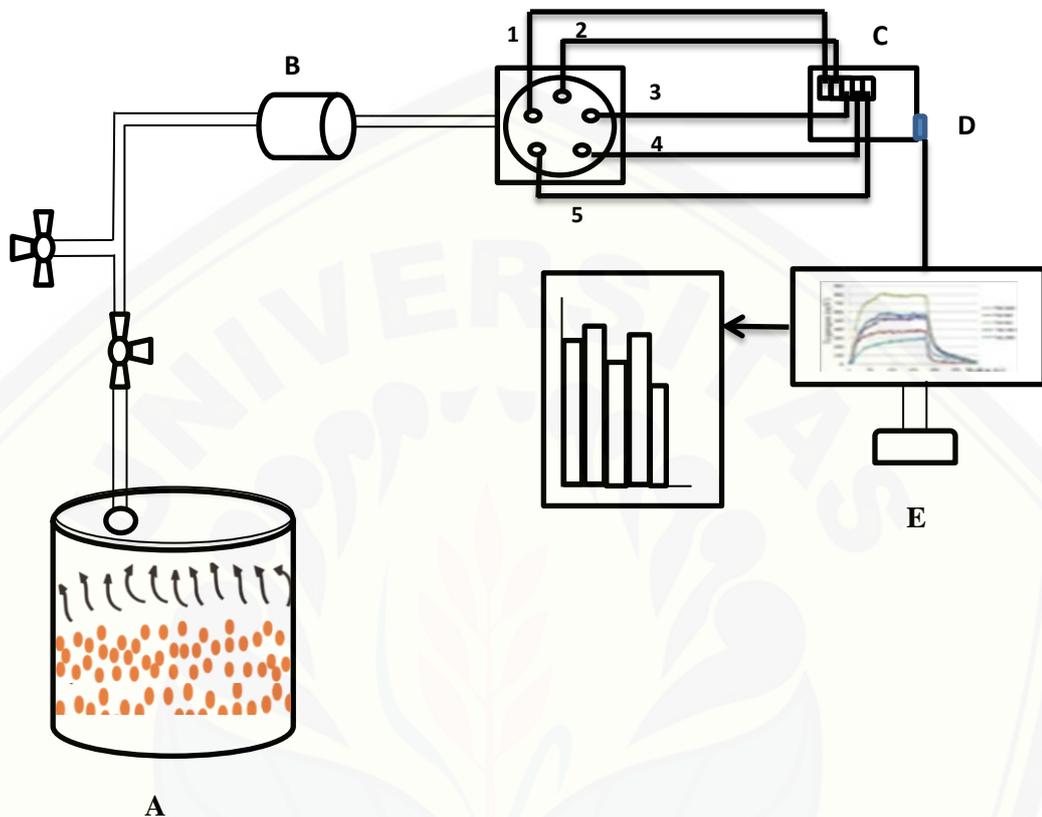


Gambar 3.1. Susunan Sensor pada Media Akrilik

Sensor yang digunakan terdiri dari 5 jenis yaitu sensor gas MQ-2, MQ-3, MQ-6, MQ-7 dan MQ-135. Sensor yang digunakan disusun dalam akrilik. Material akrilik terdiri dari 5 lubang yang digunakan untuk meletakkan sensor-sensor gas. Akrilik yang digunakan memiliki ukuran 10 cm x 10 cm dengan tebal 1 cm. Pada wadah sensor terdapat jalur in dan out yang berfungsi sebagai jalur masuk dan keluarnya gas. Wadah sensor yang digunakan memiliki lebar 10 cm, tingi 6 cm dan panjang 12 cm.

Material akrilik telah dilengkapi dengan area untuk aliran gas aroma kakao yang telah terhubung dengan pompa dan sampel. Wadah yang berisi sampel akan dihubungkan pada kotak dilengkapi dengan lima sensor. Wadah yang berisi sampel tersebut nantinya akan dihubungkan dengan kotak yang dilengkapi dengan lima sensor tersebut. Kelima sensor gas dihubungkan dengan arduino yang telah dihubungkan dengan personal computer melalui program *LabVIEW* 2012. Sedangkan alat laboratorium penunjang penelitian ini berupa Arduino Uno, selang, pompa vakum. Alat laboratorium penunjang penelitian disusun

sedemikian rupa dengan sensor dan *Personal Computer* seperti pada Gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2 Rancangan Desain Alat

Keterangan :

A = Wadah Sampel
 B = Pompa
 C = Arduino Uno
 D = Port USB
 E = Personal Computer

1 = MQ 2
 2 = MQ 3
 3 = MQ 6
 4 = MQ 7
 5 = MQ 135

3.5 Prosedur Kerja

3.5.1 Preparasi Sampel

Bahan yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini berupa biji kakao yang diperoleh dari PTPN Kendeng Lembu Banyuwangi. Sampel buah kakao petik dari hasil panen ini terdiri dari tiga sampel: mutu I, mutu II, mutu III

dan sampel dari petani. Sampel yang diukur aromanya oleh *electronic nose* berupa biji kakao berwarna coklat dan memiliki bau harum coklat yang khas.

Penelitian ini menggunakan 3 sampel kakao (mutu I, mutu II, dan mutu III) dan sampel biji kakao terfermentasi dari petani. Setiap sampel kakao dibagi menjadi sepuluh buah sampel dengan massa yang sama yaitu 100 gram. Jumlah keseluruhan sampel ada 40 buah. Sampel-sampel ditempatkan dalam wadah plastik untuk menyimpan sampel setelah di timbang. Semua sampel kakao yang total berjumlah 40 buah sampel kemudian diuji dengan *electronic nose*.

3.5.2 Proses Pengukuran

Secara garis besar proses pengukuran aroma biji kakao terfermentasi dengan sensor dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Alat diset sedemikian rupa seperti gambar 3.2. Sensor yang akan digunakan harus dilakukan pengukuran *baseline* terlebih dahulu sebelum dilakukan uji terhadap sampel. Dengan bantuan pompa, pengukuran *baseline* ini dilakukan dengan cara mengalirkan udara melalui jalur aliran gas, dengan kondisi kran dari jalur wadah sampel kakao dalam keadaan tertutup. Hasil uji stabilitas ini akan diperoleh respon berupa sinyal yang stabil yang disebabkan tidak adanya gas yang dihasilkan pada sistem tertutup. Hasil ini akan digunakan sebagai data *baseline* sensor. Udara yang digunakan sebagai *baseline* yaitu udara pada suhu 25°C. Kran udara (sebagai *baseline*) akan ditutup ketika data telah teramati sebanyak 100 data, dan kran aroma kakao akan dibuka. Dengan bantuan pompa, zat volatil yang dihasilkan dari aroma kakao akan dialirkan menuju sensor dan terdeteksi oleh 5 sensor yang disusun secara array.

Sistem akan menerima input sinyal dari 5 sensor gas, yaitu; MQ-2, MQ-3, MQ-6, MQ-7 dan MQ-135, ketika sensor mendeteksi adanya senyawa-senyawa gas dari aroma biji kakao maka resistansi dari sensor akan berubah sehingga mengakibatkan perubahan voltase. Sinyal ini akan diproses oleh rangkaian pengkondisi sinyal untuk diteruskan ke rangkaian analog digital converter (ADC) untuk dikonversi ke dalam bentuk digital. Sinyal dalam bentuk digital inilah yang akan ditampilkan secara interface pada *LabVIEW* 2012 hasil pengukuran

kemudian diperoleh data yang diolah untuk menghasilkan sebuah grafik atau pola respon berupa tegangan lawan jenis sensor. Pengenalan pola aroma gas akan dideteksi oleh sensor gas berupa signal konduktivitas dan akan terbaca pada laptop berupa signal tegangan. Signal akan dibaca oleh software *LabVIEW* 2012 pada *Personal Computer*.

Aroma kakao yang telah terdeteksi oleh sensor akan dialirkan menuju Arduino Uno kemudian akan diproses oleh *software LabVIEW* yang dilengkapi software VIPM dan Ni-VISA. Fungsi *software* VIPM yaitu untuk penyedia program yang belum terinstal dalam *labVIEW* dan fungsi penambahan *software* Vi-NISA untuk menghubungkan *LabVIEW* dengan Arduino Uno sehingga data yang diperoleh dapat diolah dengan baik. Aroma yang diperoleh dari kakao akan menuju ke *array sensor* dan respon sensor dibaca oleh Arduino Uno sebagai sinyal analog dan selanjutnya diubah menjadi sinyal digital oleh Arduino Uno.

3.5.3 Analisis Data

3.5.3 Pengambilan dan Pengolahan Data

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *electronic nose* dapat mengklasifikasi sampel atau tidak. Pengujian dilakukan dengan menggunakan biji kakao terfermentasi yang diperoleh dari PTPN XII Kendeng Lembu Banyuwangi. Setiap sampel dilakukan 10 kali percobaan maka akan didapatkan sebanyak sepuluh data. Lalu percobaan diulangi sebanyak 10 kali. Data ini akan digunakan sebagai data untuk proses analisis diskriminan atau *Discriminant Analysis* untuk menguji keakuratan sistem yang digunakan.

Kinerja gas *sensor array* dalam pengukuran aroma biji kakao terfermentasi ditentukan dengan nilai akurasi alat. Proses pengukuran aroma biji kakao tersebut dilakukan dengan 10 kali pengulangan. Tujuan pengulangan ini dilakukan untuk mengetahui akurasi alat. Data dari sensor yang diperoleh akan dibaca oleh program *LabVIEW*. Data tersebut kemudian dianalisis dengan metode diskriminan dan PCA menggunakan aplikasi XLSTAT 2018 dalam *Microsoft Excel*.

3.5.4 Radar Plot

Pola signal dari beberapa sensor dihitung dengan selisih antara pucak dengan *baseline* sehingga diperoleh tegangan dari setiap sensor. Hasil tersebut akan dirata-rata. Setelah dirata-rata hasilnya kemudian diproses dan dibentuk grafik pola radar plot dengan menggunakan excel, sehingga membentuk radar chat.

3.5.5 Analisis PCA

Analisis PCA dilakukan dengan cara mengolah data hasil pengukuran setiap pengulangan menjadi nilai tegangan setiap sensor. Hasilnya kemudian diolah kembali dengan menggunakan XLSTAT 2018 pada *microsoft excel*. Hasil analisis PCA dari *microsoft excel* ini akan dapat mengklasifikasikan sampel kakao berdasarkan pola respon sensor.

3.5.5 Discriminant Analysis

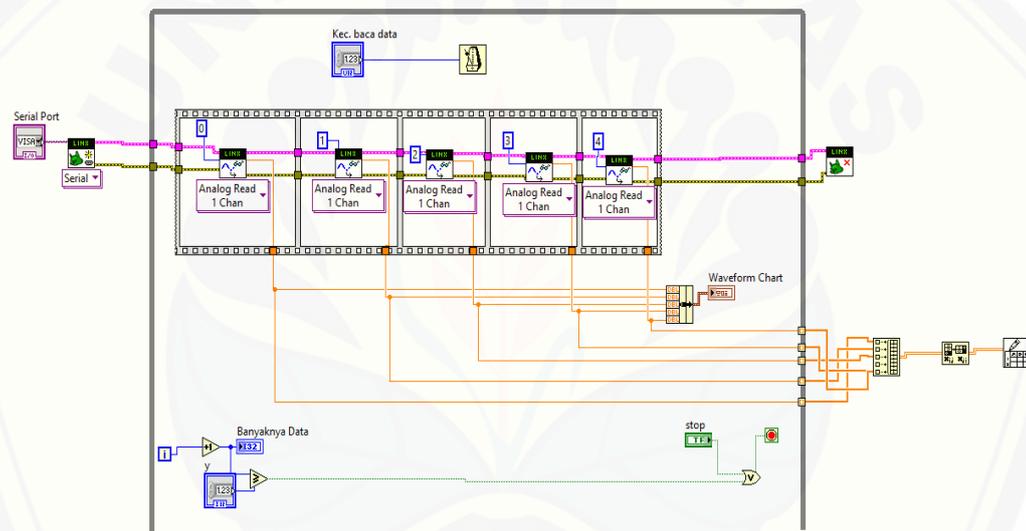
Data hasil pengukuran juga dianalisis menggunakan *Discriminant Analysis* (DA) menggunakan XLSTAT 2018 pada *microsoft excel*. *Discriminant Analysis* digunakan untuk memaksimalkan pemisahan antara beberapa kelas atau kelompok yang dilengkapi dengan data bertabel. Dalam diskriminan analisis salah satu cara untuk menghindari bias adalah membagi sampel menjadi dua bagian yaitu sampel training yang digunakan untuk membentuk aturan klasifikasi dan sampel uji yang digunakan untuk mengevaluasi fungsi klasifikasi (Rhencher, 1995). Data hasil pengukuran (dikumpulkan dari 40 percobaan) dibagi menjadi dua set, yaitu data pelatihan dan data uji. Proporsi pembagian sampel sebesar 70% untuk data pelatihan dan 30% sebagai data uji. Sehingga diperoleh data pelatihan 28 data percobaan sedangkan data uji 12 data percobaan.

3.5.6 Skema yang Digunakan dalam LabVIEW

Pada *LabVIEW* bahasa pemrograman yang digunakan menggunakan kode dan tidak menggunakan tanda *syntax* berupa titik, koma dan yang lainnya. Pemrograman pada labview menggunakan ikon-ikon untuk menghubungkan satu

program ke program yang lainnya sehingga dapat mengalirkan sebuah data dalam suatu program. Program yang terdapat dalam *LabVIEW* seringkali disebut dengan *virtual instrument*. Pada *virtual instrument* terdapat dua jendela yaitu *diagram blok* dan front panel. Pada windows *front panel* terdapat *interface* yang berfungsi untuk mensimulasikan panel contohnya yaitu menyediakan tombol, knop dan yang lainnya. Program dapat dibuat di windows dengan diagram blok yang dirancang sedemikian rupa, pada diagram blok program yang akan dibuat dapat berbentuk gambar yang dihubungkan dengan garis-garis sehingga programnya dapat berfungsi dengan baik.

Berikut ini merupakan diagram blok dari penelitian ini :



Gambar 3.4 Diagram Blok *LabVIEW* Sensor Array

Gambar 3.4 merupakan diagram blok dimana diagram ini merupakan tempat pengaturan program pada *LabVIEW*, Pada diagram blok ini terdapat hubungan antara sensor, arduino, *software LabVIEW* dan N-VISA. Sensor dihubungkan dengan 3 kabel *male – female*. Kabel pertama dihubungkan dengan VCC 5 V pada arduino, kabel kedua dihubungkan dengan *Ground* (GND) sensor – ke GND Arduino dan kabel ketiga analog output (Ao) dihubungkan pada Ao pada arduino. Gambar *al channel* dan *serial port* merupakan gambar dari sensor dan arduino. Gambar tersebut dihubungkan ke *serial marker hub* yang berlambang hijau. Ikon ini berfungsi untuk menginstall arduino sehingga dapat terhubung ke

LabVIEW kemudian terhubung dengan analog *read 1 channel* dimana pada program ini berfungsi agar data yang telah terekam oleh sensor dapat terbaca kemudian akan menjadi data berupa analog. Data analog kemudian dihubungkan dengan ikon V yang menyatakan voltase atau tegangan dimana ikon V dihubungkan dengan ikon Jumlah data. Data analog yang telah terekam akan dikonversi menjadi data digital oleh ADC yang terdapat dalam mikrokontroler arduino. Data yang menjadi output akan berupa data tegangan. Arduino Uno dan *LabVIEW* dapat terhubung karena telah terinstall perangkat tambahan berupa N-VISA yang berfungsi untuk menyediakan *interface* pemrograman antara arduino dengan *labVIEW*, pada diagram blok *sensor gas array* sensor dan arduino dihubungkan dengan N Channel yang menandakan bahwa terdapat lebih dari 1 sensor gas yang digunakan sehingga nantinya akan menghasilkan data lebih dari satu. Penyusunan 5 buah sensor pada *sensor gas array* dilakukan dengan cara menghubungkan 5 buah sensor dan kabel *male-female* menggunakan bantuan *breadboard*. *Breadboard* merupakan suatu papan yang memiliki banyak lubang yang bermuatan positif dan negatif yang dapat digunakan untuk membuat suatu rangkaian elektronik. Penyusunan dilakukan dengan cara kabel *male-female* yang dihubungkan pada tiap-tiap sensor dihubungkan pada papan dimana pin GND pada sensor dihubungkan pada tanda negatif pada *breadboard*. Pin VCC pada sensor dihubungkan ke tanda positif pada *breadboard* dan Ao pada sensor dihubungkan pada arduino sesuai urutan sensornya yaitu Ao pada MQ-135 dihubungkan ke Ao pada arduino, Ao pada MQ-2 dihubungkan pada A1 pada arduino, Ao pada MQ-3 dihubungkan pada A2 pada arduino, Ao pada MQ-6 dihubungkan pada A3 pada arduino, dan Ao pada MQ-7 dihubungkan pada A4 pada arduino, di dalam penyusunan *sensor gas array* terdapat 2 tambahan kabel digunakan untuk memberikan daya dimana VCC (+) pada *breadboard* dihubungkan ke 3,3 Volt pada arduino yang berfungsi untuk memberikan aliran listrik (DC) dan GND (-) pada *breadboard* dihubungkan pada GND di arduino sebagai tegangan referensi. Pada sensor gas array akan menghasilkan data berupa tegangan (V) sebanyak 5 data sesuai dengan sensor gas yang digunakan.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa:

- 5.1.1 Berdasarkan grafik pola radar plot di dapatkan bahwa pola respon terhadap empat jenis mutu kakao terfermentasi memiliki karakter pola yang berbeda-beda dan dapat dibedakan. Hal ini didukung dengan klasifikasi berdasarkan analisis PCA (*Principal Component Analysis*) yang menunjukkan empat pola respon yang dihasilkan dari empat sampel atau mutu kakao.
- 5.1.2 Kemampuan *sensor array* dalam melakukan pengukuran terhadap mutu biji kakao terfermentasi dapat dikatakan cukup baik. Dengan akurasi 96,43% dan presisi 96% dalam klasifikasi seperti yang ditunjukkan dengan analisis *Discriminant Analysis* yang menghasilkan nilai akurasi dan nilai presisi baik, sehingga seluruh sampel kakao terfermentasi dapat diklasifikasikan dengan baik oleh *Electronic Nose*.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian dan analisa yang dilakukan, saran penulis sebaiknya memperhatikan penyimpanan biji kakao terfermentasi yang akan diuji dan penyimpanan sensor. Penyimpanan kakao terfermentasi lebih diperhatikan lagi, sehingga senyawa volatil penyumbang aroma kakao terfermentasi tidak hilang. Penyimpanan sensor harus dilakukan dengan baik agar respon sensor yang dihasilkan bisa konsisten dan stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- Afoakwa, E.O., Budu, A.S., Mensah-brown, H. dan Felix, J. (2014). Changes in biochemical and physico-chemical qualities during drying of pulp preconditioned and fermented cocoa (*Theobroma cacao*) Beans. *Journal of Nutritional Health and Food Science* 2: 1-8.
- Andriani, Yuli., Cahyawati, Dian. dan Gusmaryanita, Vivin. 2012. Pengklasifikasian Fungsi Diskriminan Pilihan Program Studi Matematika di FMIPA dan FKIP Universitas Sriwijaya. Di dalam: Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA; Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta, 2 Juni 2012.,. Yogyakarta: 1-4
- Ariyanti, M. 2017. *Karakteristik Mutu Biji Kakao (*Theobroma cacao* L) dengan Perlakuan Waktu Fermentasi berdasarkan SNI 2323-2008*. (Quality Characteristics Of Cocoa Beans (*Theobroma cacao* L) With Time Fermentation Treatment Based on ISO 2323-2008). *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, 12(1),34–42. <https://doi.org/10.33104/jihp.v12i1.2757>
[28 Oktober 2019]
- Ambardini, S., 2009. Perubahan kadar lemak biji kakao (*Theobroma cacao* L.) melalui fermentasi beberapa isolat khamir. *Warta-Wiptek* 17, 17–22.
- Amrullah, S.D. 1987. Memepelajari Karakteristik Chaoteri dan Campuran Tape Beras Ketan. *Bioproses dalam Industri pangan*. Pusat Antar Universitas Pangan & Gizi dan Liberty, Yogyakarta.
- Asrorudin, U. 2009. *Pengembangan sensor gas berbasis timah oksida (SnO_2)*. *Warta Akab*, 8(21), 40–47.
- Askindo. (2015).Asosiasi Kakao Indonesia. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 8 (1): 63-71
- Badan Standarisasi Nasional . 2008. *Standart Nasional Mutu Biji Kakao (SNI 01-2323-2008)*. BSN : Jakarta.
- Bachrudin,. Z., Astutu, dan Y.S. Dewi. 2000. *Isolasi dan Seleksi Mikroba Penghasil Laktat dan Aplikasi pada Fermentasi*. Limbah Industri Tahu. Prosiding Seminar Nasional Industri Enzim dan Bioteknologi. Mikrobiologi

Enzim dan Bioteknologi.

- Bedy Purnama.2019.Pengantar *Machine Learning*. Informatika Bandung: Bandung.
- Camu, N., Winter T. D., Addo S.K., Takrama J.S., Bernert H and Vuyst L. D. 2008. Fermentation of cocoa beans : Influence of Microbial Activities and Polyphenolconcentrations on the flavour of chocolate. *Jornal of the science of food and Agriculture* 88: 2288-2297
- Cuypers, W., & Lieberzeit, P. A. 2018. Combining Two Selection Principles: Sensor Arrays Based on Both Biomimetic Recognition and Chemometrics. *Frontiers in Chemistry*, 6(August), 1–10
- Departemen Pertanian Republik Indonesia. 2015. *Kakao*. Jakarta : Badan Pendidikan latihan dan Penyuluhan Pertanian
- Dedy, R. 2001. *Mengenal Komponen Elektronika*. Bandung : Pionir Jaya.
- E. C. Alocija, N. L. Ritchie, and D. L. Grooms .2003. *Protocol development using an electronic nose for differentiating E-coli strains*, IEEE Sens. J., vol. 3, no. 6, pp. 801– 805.
- Elisabeth.2007. *The Effect of Cocoa Beans Fermentation on Processed Chocolate*. 20–26.
- Febrianto N.A. 2009. *Identifikasi Analisis Komponen Aroma pada Lemak Kakao Hasil Refermentasi dengan Metode SPME-GC (Solid Phase Microextraction-Gas Chromatography)*. skripsi Sarjana Teknologi Pertanian. Fakultas Teknologi Pertanian. Institute Pertanian Bogor.
- G. Green, A. Chan, and R. Goubran,2009. “*Monitoring of food spoilage with electronic nose: potential applications for smart homes,*” 2009 3rd Int. Conf. Pervasive Comput. Technol. Healthc., pp. 1–7.
- Gandjar, G. I., dan Rohman, A., 2014, *Kimia Farmasi Analisis*, Pustaka Belajar, Yogyakarta.
- Haerani, N.A. 2012. *Studi Pengaruh Pencelupan Biji Kakao (Theobrama Cacao L.) Basah dalam Air Kapur selam Berkala Selama Fermentasi*. Program Studi ilmu dan teknologi Pangan Universitas Hasannudin Makasar. skripsi
- Haryadi, M. dan Supriyanto.2001. *Pengolahan Kakao menjadi Bahan Pangan*.

- Pusat Antar Universitas pangan dan Gizi*. Universitas Gajah Mada: Yogyakarta. Hlmn 56-70.
- Handoko, P. 2017. *Sistem kendali perangkat elektronika monolitik berbasis arduino uno r3*. [3 November 2019]:1–2.
- Hasibuan, A. M., Nurmalina, R., & Wahyudi, A. 1998. Errata: The Power of Identity: Politics in a New Key. *The American Political Science Review*, 92(3), v. <https://doi.org/10.2307/2585477> [28 Oktober 2019]
- Hatmi, R. U., & Rustijarno, S. 2012. *Teknologi Pengolahan Biji Kakao Menuju Sni Biji Kakao 01-2323-2008*.
- Hendrick. Rivai, M. T. 2010. Klasifikasi Odor pada Ruang Terbuka dengan Menggunakan Short Time Fourier Transform dan Neural Learning Vector Quantization. *Jurusan Teknik Elektro*.
- Holt. J.G., et al. 2000. *Bergey's Manual Determinative Bacteriology*. Baltimore : Williamn and Wilkins Baltimore.
- Ikhsan Nur Rahmani, Danang Lelono, Kuwat Triyana. 2018. Klasifikasi Kakao Berbasis e-nose dengan Metode Neuro Fuzzy. *Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems (IJEIS)* Vol.8, No.1, pp. 49~60 ISSN (print): 2088-3714, ISSN (online): 2460-7681
- Iswoputranto, P.S., 1985. *Budidaya dan Pengolahan Coklat*. Balai Penelitian Bogor, Sub Balai Penelitian Budidaya, Jember.
- Irawati, D. 2006. *Pemanfaatan Sebuk Kayu Untuk Produksi Etanol*. Bogor: IPB
- J. He, L. Xu, P. Wang, and Q. Wang. 2016. *A high precise E-nose for daily indoor air quality monitoring in living environment*. *Integr. VLSI J.*, no. xxxx, pp. 1–10.
- Juniarti. 2013. *Pola Sebaran Karakteristik Fisisk Biji Kakao (theobrama Cocoa L). Berdasarkan Posisi Buah Pada Pohon*. {Skripsi} Universitas hasanuddin: Makassar.
- Jolliffe, I.T.2002. *Principal Component Analysis : Second Edition*. Springer. New York.
- Johnson, R. A., Wichern, D. W. 2007. Sixth edition, *Applied Multivariate Statistical Analysis*. New Jersey: Prentice Hall.

- Juzhong Tan, Balu B., Darin S., Saila R., P. Umaharan. 2019. Sensing fermentation degree of cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans by machine learning classification models based electronic nose system. *Journal Of Food Process Engineering*. New Brunswick: Rutgers University.
- Kusyawati, M.E. dan S. Setyani. 2008. Pengaruh Penambahan Inkolom Campuran Terhadap Perubahan Kimia dan Mikrobiologi Selama Fermentasi Coklat. *Jurnal Teknologi Industri dan Hasil Pertanian*, 13(2).
- Litbang Surabaya. 2013. *Teknologi Fermentasi untuk Meningkatkan Kualitas Biji tanaman Kakao Indonesia*. bppsptsurabaya : Surabaya.
- Lelono. D. 2017. *Pengembangan Instrumentasi Sistem Electronic Nose untuk Uji Teh Hitam Lokal*. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada
- Marino., Tirta, Made. dan Dewi, Yuliani. 2014. Perbandingan Analisis Diskriminan Linier, Diskriminan Linier Robust dan Regresi Logistik Biner Studi Kasus Pada Penjurusan Bidang IPA/IPS Siswa Tingkat SMA Negeri 1 Bangorejo Banyuwangi. Di dalam: *Prosiding Seminar Nasional Matematika*; Universitas Jember, 19 November 2014,. Jember: 192-200.
- Muttalib, S. A., Nugroho, J., & Bintoro, N. 2012. Identifikasi Aroma Campuran (Blending) Kakao dengan Electronic Nose Menggunakan Sistem Pengenalan Pola. *Prosiding Seminar Nasional Perteta* : 13-14
- N. Dufour, Y. Veyrac, P. Menini, F. Blanc, C. Talhi, B. Franc, C. Ganibal, P. Menini, N. Dufour, C. Wartelle, and K. Aguir. 2012. Increasing the sensitivity and selectivity of Metal Oxide gas sensors by controlling the sensitive layer polarization. *Proc. IEEE Sensors*, no. 2, pp. 3–6.
- Nuraeni, 1995. *Coklat Pembudidayaan, Pengolahan dan Pemasaran*. Swadayan: Jakarta.
- Olunloyo, V. O. S., Ibidapo, T. A., R. R. Dinrifo. 2011. Neural network-based electronic nose for cocoa beans quality assessment. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. Vol.13, No.4
- T. Seesaard, C. Sriphrapadang, T. Kitiyakara, and T. Kerdcharoen,.2016. “Self-screening for diabetes by sniffing urine samples based on a hand-held electronic nose,” 9th

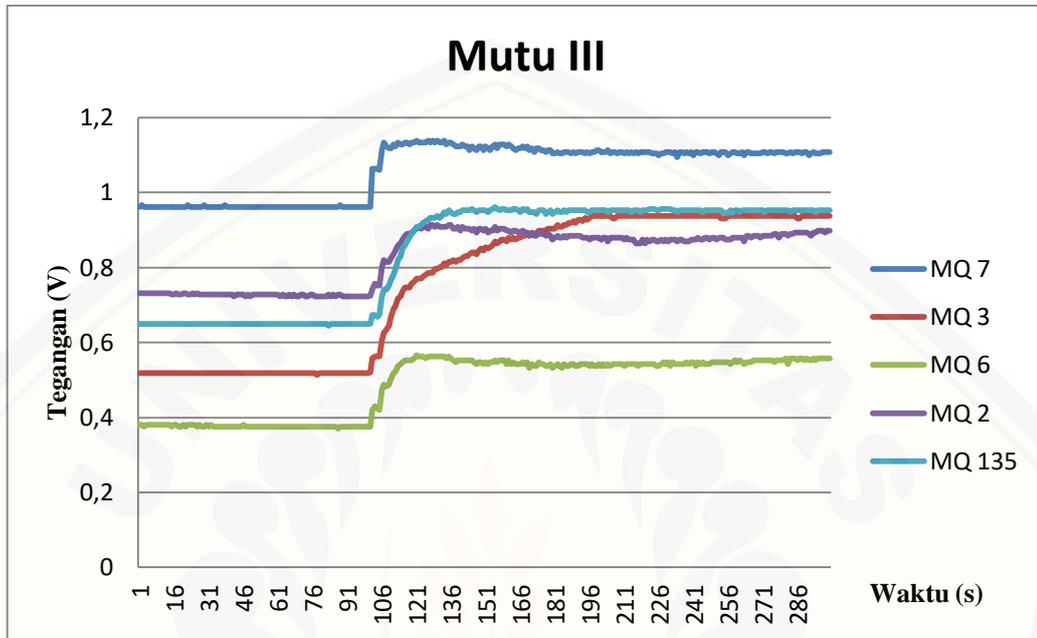
- Pallas, R. dan J. G. W. (n.d.). *Sensor and Signal Second Edition*. In New York (Second Edi). United States of America: A Wiley-Interscience Publication.
- Pairunan. 2009. *Karakteristik Fermentasi Pulp Kakao dalam Produksi Asam Asetat*. Institute Pertanian Bogor : Bogor
- Persaud, K., & Dodd, G. 1982. *Analysis of Discriminations Mechanisms in the Mammalian olfactory System a Model Nose Nature*, 299 : 352-355 (Serial Online). <http://doi.org/10.1038/299352a0> [8 November 2019]
- Poedjiwidodo, M. S. 1996. *Sambung Samping Kakao*. Trubus Agriwidya. Jawa Tengah.
- Pujiswanto, H. (n.d.). *Pengaruh Fermentasi Limbah Cair Pulp Kakao terhadap Tingkat Keracunan dan Pertumbuhan Beberapa Gulma Berdaun Lebar* Effect of Fermentation Liquid Waste Cocoa Pulp on the level of Toxicity and Growth Some broad-leaved Weeds. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 12(1), 13–19.
- Prawoto AA, M. E. 2014. *Pedoman Budi Daya Kakao pada Kebun Campur*, Bogor, Indones. World Agrofor. Cent. Southeast Asia Reg. Progr..
- Rabersyah, D., Firdaus, & Derisma. 2016. Identifikasi jenis bubuk kopi menggunakan electronic nose. *Nasional Teknik Elektro*, 5(3), 332–338.
- Rahman, I. N., Lelono, D., & Triyana, K. 2018. Klasifikasi Kakao Berbasis e-nose dengan Metode Neuro Fuzzy. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, 8(1), 49. <https://doi.org/10.22146/ijeis.25512> [28 Oktober 2019]
- Rully. dan Poppy. 2014. *Metodologi Penelitian*. PT. Refika Aditama. Bandung.
- Sunanto, H. 1992. *Coklat Budidaya Pengolahan Hasil dan Aspek ekonomi*. Kanisius : Yogyakarta hal 130.
- Sebayang, M. A. 2017. Stasiun pemantau kualitas udara berbasis web. *Journal of Informatics and Telecommunication Engineering*. 1(1):24–33.
- Sewet, A. 2004. *Optimasi Kondisi Penyangraian Untuk Menghasilkan Bubuk Kakao (Theobroma Cacao L.) dengan Sifat Fisik, Kimiadan Organoleptik Terbaik*. Jurusan Teknologi Pangan, Institute Pertanian Bogor : Bogor.
- Siswoputranto, P. S. 1985. *Budidaya dan Pengolahan Coklat*. Balai Penelitian

- Bogor, sub Balai Penelitian Budidaya : Jember.
- Soenaryo dan S. Sitimorang. 1978. Budidaya dan Pengolahan Coklat. Bogor: Balai Penelitian dan Perkebunan Bogor.
- Suardana, I. W., I.N. Suarsana., I. N. Sujaya., dan K.G. Wiyawan. 2007. *Isolasi dan Identifikasi Bakteri Asam Laktat dari Cairan Rumen Sapi Bali sebagai Kandidat Biopreservatif*. Jurnal Veteriner Vol. 8 (4) : 155-159.
- Syahrurachman, A. 1994. *Mikrobiologi Kedokteran*. Edisi Revisi. Jakarta : Penebar Swardaya
- Szczurek, A., & Maciejewsk, M. 2012. Gas Sensor Array with Broad Applicability. *Sensor Array*. <https://www.intechopen.com/books/sensor-array/gas-sensor-array-with-broad-aplicability> [diakses 26 September 2019].
- Siswoyo dalam Susanti. 1985. *Budidaya Pengolahan Coklat*. Balai Penelitian Bogor, sub Balai Penelitian Budidaya : Jember
- Tan, J., Balasubramanian, B., Sukha, D., Ramkisson, S., & Umaharan, P. 2019. Sensing Fermentation Degree of Cocoa (*Theobroma Cacao* L.) beans by Machine Learning Classification Models besed Electronic Nose System. *Journal of Food Process Engineering*, (March), 1-8
- Widyotmo, S., & Mulato, S. 2004. Rekayasa proses dan alat-mesin pengolahan produk hilir kakao untuk skala usaha kecil menengah. *Simposium Kakao*, pp. 68–81.
- Widodo, Prabowo.P, *et al.*, 2011. *Pemodelan Sistem Berorientasi Objek Dengan UML*. Ilmu Graha : Yogyakarta.
- Wahyudi, T dan Pujiyanto. 2008. *Paduan Lengkap Kakao*. Penerbit Swadaya : Jakarta.
- Yanti NA, Jamili, Susilowati PE. 2014 *Peningkatan kualitas biji kakao melalui proses fermentasi oleh mikroba lokal asal Sulawesi Tenggara*. Prosiding Semirata MIPA, Bogor 9-11 Mei 2014, Institut Pertanian Bogor
- Zhao, G. Fleet, V.T. Thuy. 2015. The Effect of Lactic Acid Bacteria on Cocoa Bean Fermentation. *Journal International Food Microbiol.* 54 :57

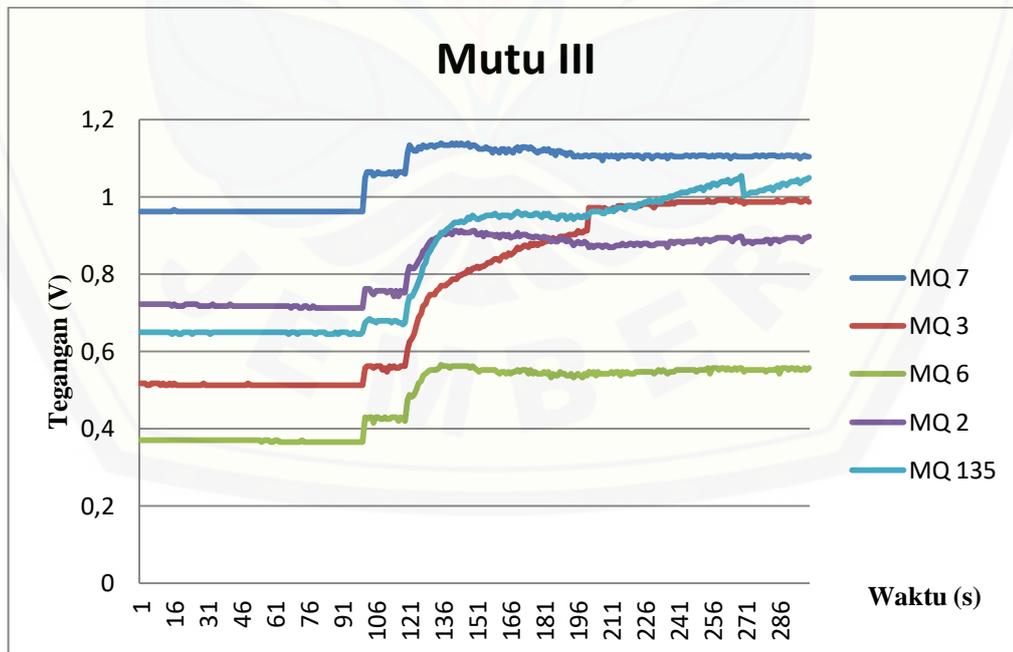
LAMPIRAN 1

1.1 Pola Respon Data mutu III

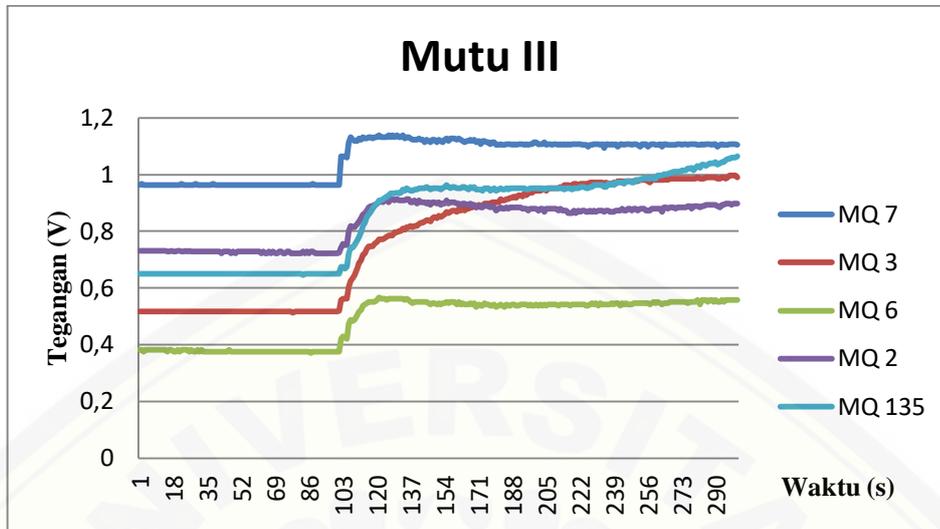
a. Pengulangan pertama



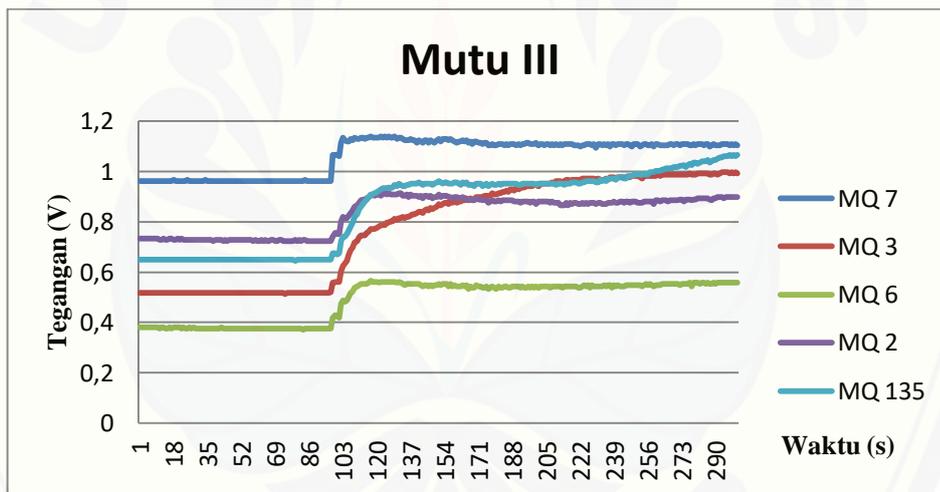
b. Pengulangan Kedua



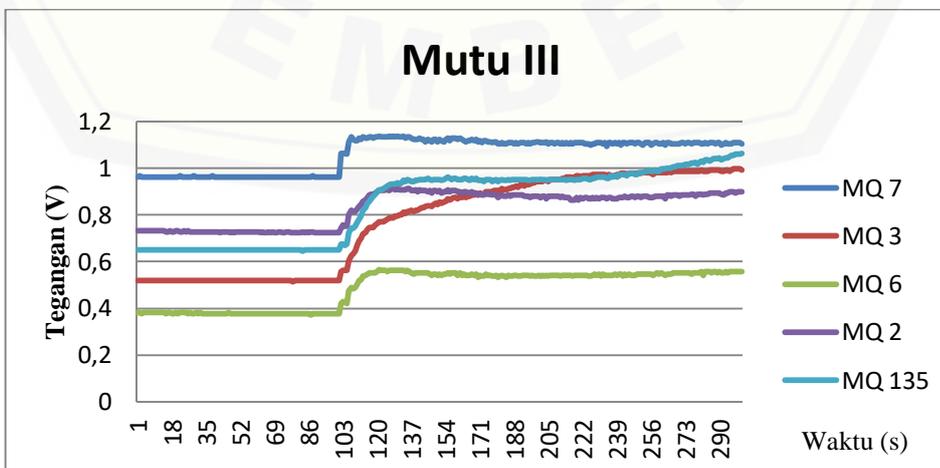
c. Pengulangan ketiga



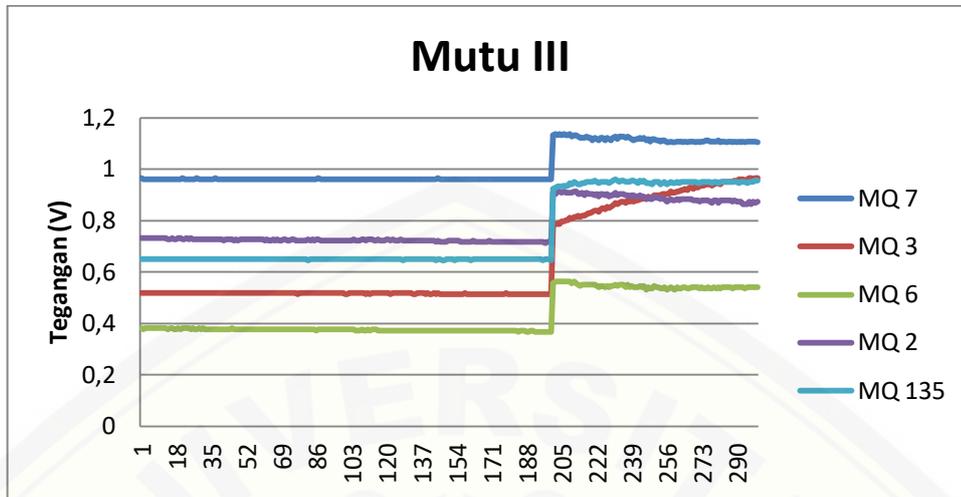
d. Pengulangan keempat



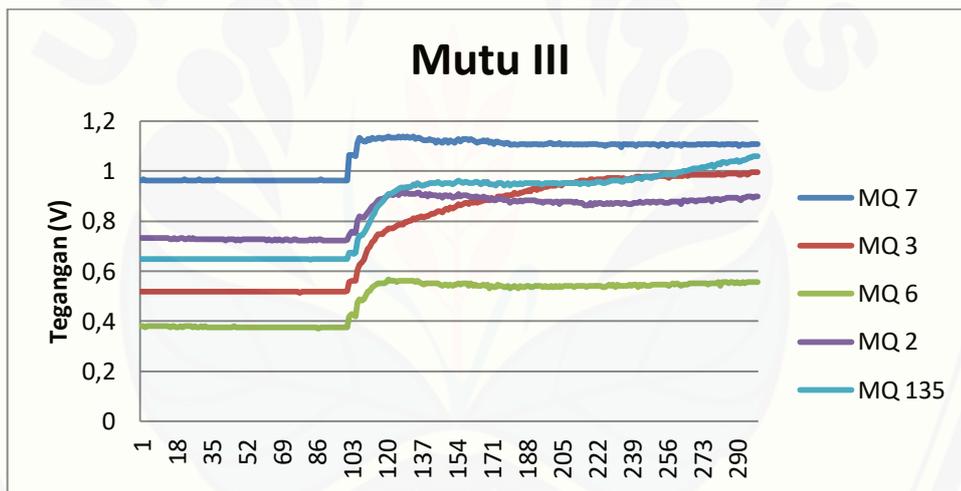
e. Pengulangan Kelima



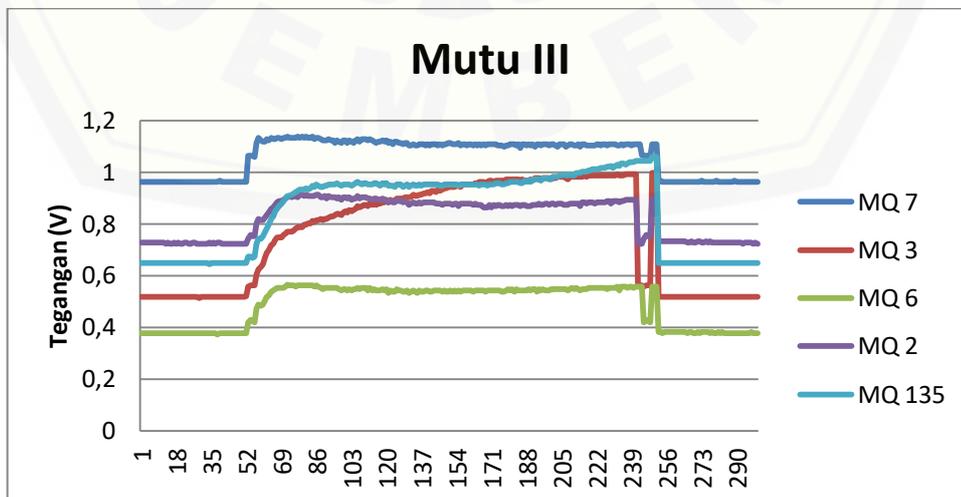
f. Pengulangan Keenam



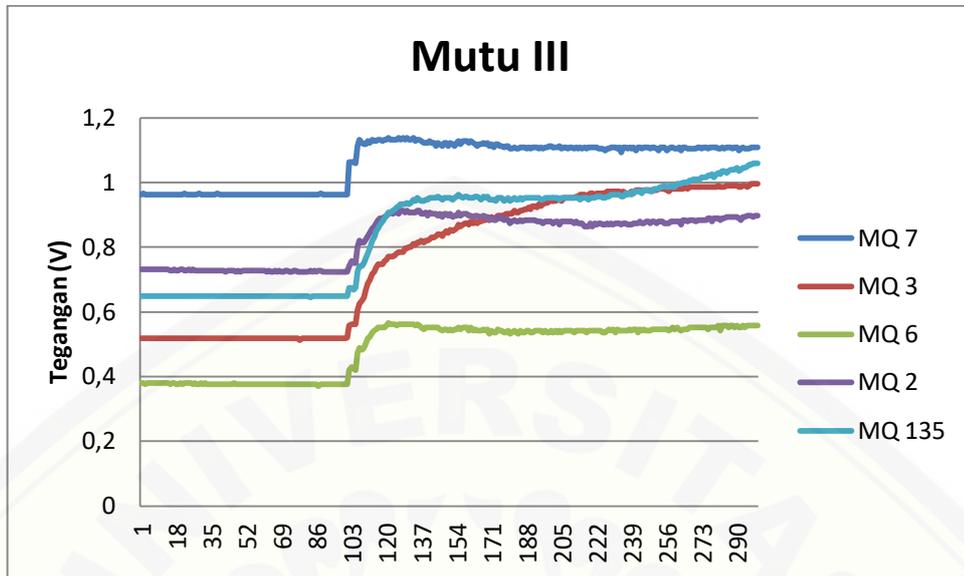
g. Pengulangan ketujuh



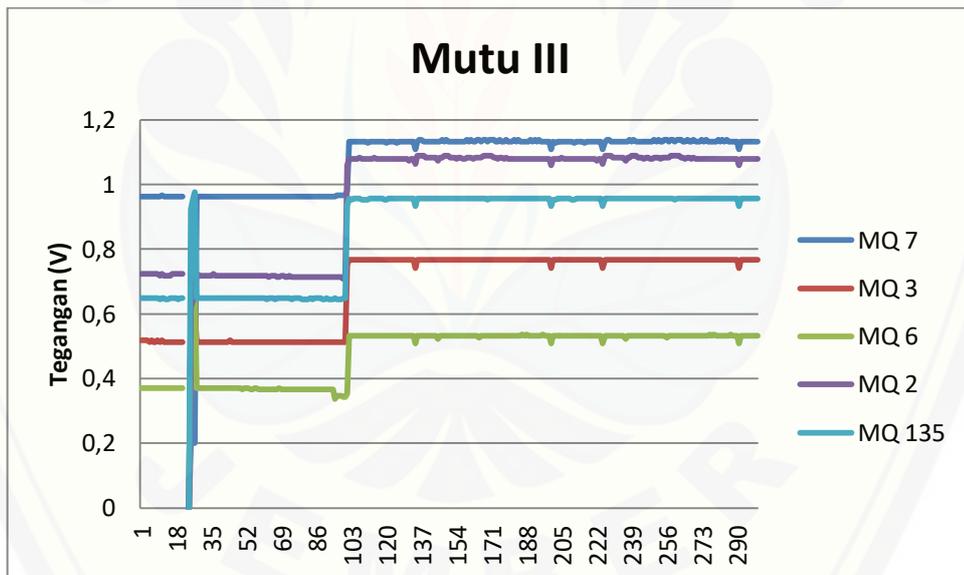
h. . Pengulangan kedelapan



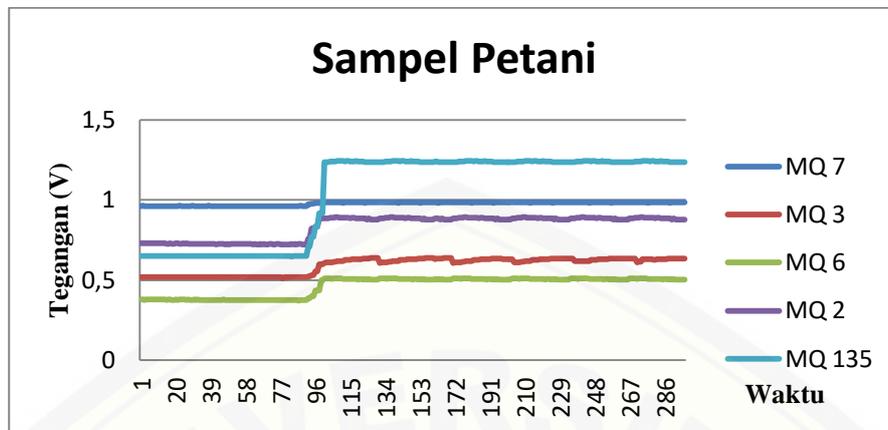
i. Pengulangan Kesembilan



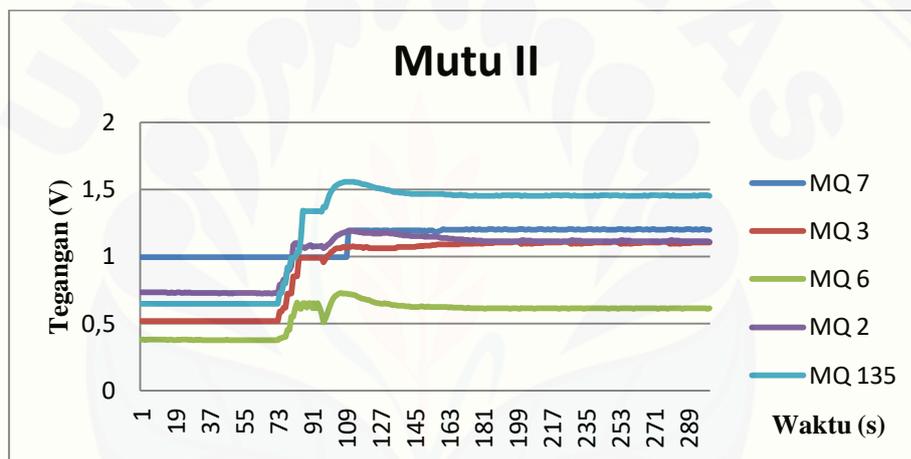
j. Pengulangan Kesepuluh



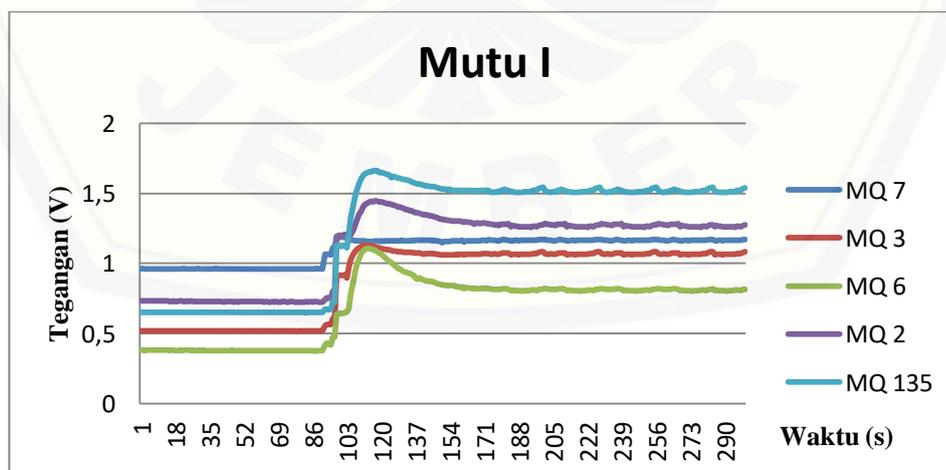
1.2 Pola respon Data Sampel Petani



1.3 Pola respon Data Sampel Mutu II



1.4 Pola respon Data Sampel Mutu I



LAMPIRAN 2

Data Hasil Pola Respon Pengulangan 10 kali pada Keempat Sampel

Pengukuran	MQ 7	MQ 3	MQ 6	MQ 2	MQ 135	mutu
Pengukuran 1	0,205	0,61	0,727	0,718	1,011	I
Pengukuran 2	0,205	0,61	0,732	0,718	1,011	I
Pengukuran 3	0,210	0,605	0,786	0,522	1,158	I
Pengukuran 4	0,229	0,659	0,415	0,605	1,021	I
Pengukuran 5	0,239	0,532	0,371	0,581	0,791	I
Pengukuran 6	0,205	0,61	0,727	0,718	1,011	I
Pengukuran 7	0,205	0,61	0,727	0,718	1,011	I
Pengukuran 8	0,244	0,698	0,459	0,605	1,011	I
Pengukuran 9	0,205	0,61	0,732	0,718	1,011	I
Pengukuran 10	0,205	0,61	0,727	0,718	1,011	I
Pengukuran 1	0,244	0,556	0,347	0,463	0,909	II
Pengukuran 2	0,2	0,556	0,347	0,459	0,909	II
Pengukuran 3	0,244	0,556	0,347	0,463	0,909	II
Pengukuran 4	0,244	0,561	0,362	0,478	0,913	II
Pengukuran 5	0,244	0,556	0,347	0,463	0,909	II
Pengukuran 6	0,21	0,605	0,786	0,522	1,158	II
Pengukuran 7	0,244	0,556	0,347	0,463	0,909	II
Pengukuran 8	0,019	0,556	0,332	0,439	0,909	II
Pengukuran 9	0,244	0,561	0,362	0,478	0,913	II
Pengukuran 10	0,244	0,556	0,347	0,463	0,909	II
Pengukuran 1	0,161	0,419	0,171	0,166	0,308	III
Pengukuran 2	0,176	0,317	0,195	0,195	0,303	III
Pengukuran 3	0,176	0,312	0,186	0,185	0,303	III
Pengukuran 4	0,161	0,419	0,171	0,166	0,308	III
Pengukuran 5	0,161	0,419	0,171	0,166	0,308	III
Pengukuran 6	0,176	0,351	0,186	0,181	0,313	III
Pengukuran 7	0,161	0,419	0,171	0,166	0,308	III
Pengukuran 8	0,176	0,378	0,19	0,19	0,303	III
Pengukuran 9	0,161	0,419	0,171	0,166	0,308	III
Pengukuran 10	0,176	0,254	0,161	0,371	0,312	III
Pengukuran 1	0	-0,034	0,142	0,219	0,513	Petani
Pengukuran 2	0,005	-0,015	0,142	0,2	0,508	Petani
Pengukuran 3	0,005	-0,005	0,147	0,166	0,538	Petani
Pengukuran 4	0,005	0,014	0,142	0,161	0,581	Petani
Pengukuran 5	0,01	0,029	0,127	0,141	0,552	Petani
Pengukuran 6	0,015	0,044	0,137	0,146	0,581	Petani
Pengukuran 7	0,015	0,068	0,132	0,136	0,567	Petani
Pengukuran 8	0,019	-0,008	0,127	0,136	0,547	Petani

Pengukuran 9	0,015	0,117	0,137	0,141	0,576	Petani
Pengukuran 10	0,024	0,122	0,137	0,171	0,6	Petani

Data Uji hasil Pola Respon Sampel X

Pengukuran	MQ 7	MQ 3	MQ 6	MQ 2	MQ 135	mutu
Pengukuran 1	0,015	0,068	0,132	0,136	0,567	x
Pengukuran 2	0,019	-0,008	0,127	0,136	0,547	x
Pengukuran 3	0,01	0,029	0,127	0,141	0,552	x
Pengukuran 4	0,176	0,418	0,115	0,181	0,434	x
Pengukuran 5	0,015	0,068	0,132	0,136	0,567	x
Pengukuran 6	0,019	-0,008	0,127	0,136	0,547	x
Pengukuran 7	0,015	0,117	0,137	0,141	0,576	x
Pengukuran 8	0,084	0,122	0,157	0,171	0,66	x
Pengukuran 9	0,01	-0,025	0,147	0,22	0,513	x
Pengukuran 10	0,01	-0,015	0,147	0,21	0,503	x

LAMPIRAN 3

Tabel 4.1 *Confusion Matrix* Data Pelatihan terhadap Pengukuran Mutu

from \ to	I	II	III	Petani	Total	% correct
I	6	1	0	0	7	85,71%
II	0	7	0	0	7	100,00%
III	0	0	7	0	7	100,00%
Petani	0	0	0	7	7	100,00%
Total	6	8	7	7	28	96,43%

4.2 *Confusion Matrix* Data Validasi terhadap Pengukuran Mutu

from \ to	I	II	III	Petani	Total	% correct
I	3	0	0	0	3	100,00%
II	0	3	0	0	3	100,00%
III	0	0	3	0	3	100,00%
Petani	0	0	0	3	3	100,00%
Total	3	3	3	3	12	100,00%

1. Perhitungan Presisi Sistem Electronic Nose

$$\text{Presisi} = \frac{TP}{FP + TP} \times 100\% \text{ atau } \text{Presisi} = \frac{\sum_{i=1}^l TP_i}{\sum_{i=1}^l (FP_i + TP_i)} \times 100\%$$

Keterangan :

- TP adalah *True Positive*, yaitu jumlah data positif yang terklasifikasi dengan benar oleh sistem.
- FP adalah *False Positive*, yaitu jumlah data positif namun terklasifikasi salah oleh sistem

from \ to	I	II	III	Petani	Total
I	6	1	0	0	7
II	0	7	0	0	7
III	0	0	7	0	7
Petani	0	0	0	7	7
Total	6	8	7	7	28

1.1 Sampel Mutu I

$$\begin{aligned} \text{Presisi} &= \frac{6}{7} \times 100 \% \\ &= 85 \% \end{aligned}$$

1.2 Sampel Mutu II

$$\begin{aligned} \text{Presisi} &= \frac{7}{7} \times 100 \% \\ &= 100 \% \end{aligned}$$

1.3 Sampel Mutu III

$$\begin{aligned} \text{Presisi} &= \frac{7}{7} \times 100 \% \\ &= 100 \% \end{aligned}$$

1.4 Sampel dari Petani

$$\begin{aligned} \text{Presisi} &= \frac{7}{7} \times 100 \% \\ &= 100 \% \end{aligned}$$

1.5 Kepresisian seluruh Sampel

$$\begin{aligned} \text{Presisi Seluruh Sampel} &= \frac{85\% + 100\% + 100\% + 100\%}{4} \\ &= 96 \% \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Nilai Presisi Gas sensor Array

Sampel Kakao	Nilai Presisi
Mutu I	85%
Mutu II	100%
Mutu III	100%
Sampel dari Petani	100%
Sampel Keseluruhan	96%

4.3 Prediksi Sampel X terhadap Keempat Mutu Pengukuran

	Predicted class	Pr(I)	Pr(II)	Pr(III)	Pr(Petani)	F1	F2	F3
PredObs1	Petani	0,000	0,000	0,000	1,000	-13,815	4,373	0,089
PredObs2	Petani	0,000	0,000	0,000	1,000	-15,677	5,023	-0,348
PredObs3	Petani	0,000	0,000	0,000	1,000	-14,622	4,593	-0,286
PredObs4	III	0,000	0,000	1,000	0,000	-1,883	-5,876	1,881
PredObs5	Petani	0,000	0,000	0,000	1,000	-13,815	4,373	0,089
PredObs6	Petani	0,000	0,000	0,000	1,000	-15,677	5,023	-0,348
PredObs7	Petani	0,000	0,000	0,000	1,000	-12,458	3,794	0,301
PredObs8	Petani	0,000	0,000	0,000	1,000	-11,948	5,952	1,086
PredObs9	Petani	0,000	0,000	0,000	1,000	-13,838	3,855	-1,855
PredObs10	Petani	0,000	0,000	0,000	1,000	-13,800	3,547	-1,716

Tampilan XLSTAT Microsoft Excel 2018

