

TESIS

**ELECTRONIC NOSE (E-NOSE) BERBASIS LARIK
SENSOR GAS UNTUK MENDETEKSI PENYAKIT
GINGIVITIS DARI NAPAS MANUSIA**



Oleh

ACHMAD ILHAM FANANY AL ISYROFIE

NIM 082025053002

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK BIOMEDIS
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA**

2022

TESIS

**ELECTRONIC NOSE (E-NOSE) BERBASIS LARIK
SENSOR GAS UNTUK MENDETEKSI PENYAKIT
GINGIVITIS DARI NAPAS MANUSIA**

Oleh

ACHMAD ILHAM FANANY AL ISYROFIE

NIM 082025053002

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK BIOMEDIS
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA**

2022

TESIS

**ELECTRONIC NOSE (E-NOSE) BERBASIS LARIK SENSOR GAS
UNTUK MENDETEKSI PENYAKIT GINGIVITIS DARI NAPAS
MANUSIA**

Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Magister
Dalam Program Studi Magister Teknik Biomedis
Pada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga

OLEH:

ACHMAD ILHAM FANANY AL ISYROFIE

NIM 082025053002

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK BIOMEDIS
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA**

2022

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Judul : Electronic Nose (E-nose) Berbasis Larik Sensor Gas Untuk
Mendeteksi Penyakit Gingivitis Dari Napas Manusia
Mahasiswa : Achmad Ilham Fanany Al Isyrofie
NIM : 082025053002

TESIS INI TELAH DISETUJUI
TANGGAL 2 FEBRUARI 2023

OLEH:

Pembimbing Ketua,



Prof. Dr. Suryani Dyah Astuti, M. Si.

NIP.196908041994122001

Pembimbing II,



Dr. Ir. Soegianto Soelistono., M.Si

NIP.197001251993031003

Mengetahui,

Koordinator Program Studi Magister Teknik Biomedis
Fakultas Sains Dan Teknologi
Universitas Airlangga Surabaya



Prof. Dr. Suryani Dyah Astuti, M. Si.

NIP.196908041994122001

Telah diuji pada

Tanggal: 31 Januari 2023

PANITIA PENGUJI TESIS

Ketua : Dr. Riries Rulaningtyas, M.T.

Anggota : 1. Prof. Dr. Suryani Dyah Astuti., S.Si., M.Si.

2. Dr. Ir. Soegianto Soelistiono., M.Si

3. Dr. Rimuljo Hendradi S.Si., M Si.

4. Mega Moeharyono Puteri, drg., Sp.KGA., Ph.D

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Achmad Ilham Fanany Al Isyrofie

NIM : 082025053002

Program Studi : Magister Teknik Biomedis

Judul Tesis : Electronic Nose (E-nose) Berbasis Larik Sensor Gas Untuk

Mendeteksi Penyakit Gingivitis Dari Napas Manusia

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tesis saya ini adalah asli (hasil karya sendiri) bukan merupakan hasil peniruan etau penjiplakan (Plagiarism) dari karya orang lain. Tesis ini belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik.

Dalam tesis ini tidak terdapat pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan didalam daftar pustaka. Demikian, pernyataan ini dibuat tanpa adanya paksaan dari pihak manapun, apabila pernyataan ini tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan norma dan peraturan yang berlaku di Universitas Airlangga.

Surabaya 2 Februari 2023



Achmad ilham fanany Al Isyrofie

NIM 082025053002

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan anugrah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis berjudul “Electronic Nose (E-Nose) Berbasis Larik Sensor Gas Untuk Mendeteksi Penyakit Gingivitis Dari Napas Manusia”. Naskah tesis ini dikerjakan untuk memenuhi syarat kelulusan dan mendapat gelar Magister Teknik di Program Studi S-2 Teknik Biomedis Universitas Airlangga. Tesis ini diharapkan dapat bermanfaat bagi dunia kedokteran paru-paru, gigi dan mulut. Selain itu tesis ini dapat membantu adik-adik angkatan dalam menemukan topik-topik baru dalam melakukan penyusunan tesis. Naskah tesis ini dapat diselesaikan dengan baik berkat bantuan dan dukungan dari semua pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Suryani Dyah Astuti, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing I dan Ketua Program Studi S2 Teknobiomedik Universitas Airlangga yang telah sabar membimbing, mengarahkan dan memotivasi dalam proses penelitian hingga penyusunan tesis.
2. Dr. Ir. Soegianto Soelistiono., M.Si. selaku Pembimbing II yang selalu sabar dalam membimbing, mengarahkan dan memotivasi dalam penyusunan tesis.
3. Dr. Riries Rulaningtyas, M.T., Dr. Rimuljo Hendradi S.Si., M.Si. dan Mega Moeharyono Puteri, drg., Sp.KGA., Ph.D selaku penguji I, II, dan III yang memberikan arahan dan masukan dalam penyusunan tesis ini.
4. Kedua orang tua, Ayah dan Ibu yang selalu berdoa, memotivasi dan selalu memberikan dukungan moril dan materil sehingga penulis dapat bertahan dan selalu semangat dalam penyusunan tesis ini.
5. Orang-orang tercinta yang telah memberikan semangat dan doa mulai dari awal hingga akhir studi magister.
6. Tim laboratorium Biofisika yang selalu memberikan semangat serta membantu penulis dalam melaksanakan penelitian.
7. Para dosen S2 Teknik Biomedis yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat buat kami.

8. Teman-teman seperjuangan S2 Teknik Biomedis dan teman-teman yang sudah membantu dalam penyusunan penelitian tesis. Terima kasih atas kebersamaan dan kekeluargaanya
9. Para tenaga akademis yang telah membantu kami dalam semua persiapan pembelajaran, ujian dan hasil ujian.
10. Dan semua yang telah memberikan semangat dan doa yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis hanya dapat berdoa semoga Tuhan Yang Maha Esa dapat membalas budi baik Bapak, Ibu dan rekan-rekan semua. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis harapkan saran dan kritik yang bersifat membangun agar tesis ini dapat menjadi lebih sempurna dan penulis berharap agar tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 2 Februari 2023

Penulis

RINGKASAN

Electronic Nose (E-Nose) Berbasis Larik Sensor Gas Untuk Mendeteksi Penyakit Gingivitis Dari Napas Manusia

Achmad Ilham Fanany Al Isyrofie

Gingivitis merupakan suatu inflamasi yang melibatkan jaringan lunak di sekitar gigi yaitu jaringan gingiva. Gambaran klinis gingivitis adalah munculnya warna kemerahan pada margin gingiva, pembesaran pembuluh darah di jaringan ikat subepitel, hilangnya keratinisasi pada permukaan gingiva dan pendarahan yang terjadi pada saat dilakukan *probing*. Gingivitis dapat dideteksi secara dini dengan mengetahui derajat halitosis dari seseorang. *Electronic Nose (E-nose)* dapat menjadi solusi dalam mendeteksi penyakit gingivitis secara *non-invasive* dengan cara mengukur derajat halitosis yang diambil dari sampel napas seseorang. *Electronic Nose (E-nose)* adalah sebuah instrumen yang cara kerjanya meniru prinsip kerja indra penciuman. *E-nose* terdiri dari larik sensor (*array sensor*) gas sebagai pengganti reseptor penciuman yang berfungsi untuk mendeteksi bau atau aroma.

Pada penelitian ini, sensor yang digunakan adalah *Taguchi Gas Sensor (TGS)* yang berjumlah 6 buah terdiri dari TGS 2600, TGS 2602, TGS 2611, TGS 2620, TGS 2612, dan TGS 826. Ketika proses pengujian dilakukan, seluruh sensor gas akan bereaksi terhadap gas respirasi responden dan mengeluarkan respon yang terbaca dalam bentuk besar tegangan pada software E-nose. Data yang diperoleh kemudian dikirimkan ke komputer untuk direkam melalui *software E-Nose data logger* dan disimpan pada personal computer (PC). Setelah seluruh data terekam sempurna, data akan diproses menggunakan algoritma komputasi mulai dari ekstraksi fitur menggunakan *Principal Component Analysis (PCA)*, proses klasifikasi menggunakan metode *k-Nearest Neighbor (k-NN)*, *Logistic Regression*, dan *Support Vector Machine (SVM)* dan uji validasi menggunakan metode *K-Fold Cross Validation*.

Hasil dari pengujian respon sensor *E-nose* terhadap sampel menunjukkan bahwa *E-nose* mampu mendeteksi sampel napas sehat dan gingivitis. Sensor TGS 2611 memberikan respon kenaikan tegangan tertinggi untuk sampel napas manusia sebesar 1.05 V. Hasil persentase variansi kumulatif menunjukkan bahwa metode PCA belum mampu melakukan ekstraksi fitur dengan baik dikarenakan hasil persentase kumulatif variansi sebesar 19.64 % belum memenuhi standar yang ditetapkan. Metode *machine learning* yang menggunakan *initial set* sebagai fitur memiliki performa yang lebih tinggi dibandingkan metode *machine learning* yang menggunakan PCA sebagai metode ekstraksi fitur dengan performa tertinggi secara berurutan adalah metode k-NN, SVM, dan *Logistic Regression* dengan akurasi 91.11%, 90.00%, dan 87.77%. Sementara itu, metode *machine learning* yang menggunakan PCA sebagai metode ekstraksi fitur menunjukkan bahwa performa terbaik secara berurutan adalah metode k-NN, SVM, dan *Logistic Regression* dengan akurasi 83.33%, 82.22%, dan 71.11%. Secara keseluruhan, metode k-NN

menunjukkan performa terbaik dalam melakukan proses klasifikasi gingiva sehat dan gingivitis.

SUMMARY

Electronic Nose (E-Nose) Based on Gas Sensor Arrays to Detect Gingivitis Disease from Human Breath

Achmad Ilham Fanany Al Isyrofie

Gingivitis is an inflammation involving the soft tissue around the teeth, namely the gingival tissue. The clinical features of gingivitis are the appearance of redness on the gingival margin, enlargement of blood vessels in the subepithelial connective tissue, loss of keratinization on the gingival surface and bleeding that occurs on probing. Gingivitis can be detected early by knowing the degree of halitosis of a person. Electronic Nose (E-nose) can be a solution in detecting gingivitis non-invasively by measuring the degree of halitosis taken from a person's breath sample. Electronic Nose (E-nose) is an instrument whose way of working mimics the working principle of the sense of smell. E-nose consists of an array of gas sensors instead of olfactory receptors which function to detect odors or aromas.

In this study, the sensors used are the Taguchi Gas Sensor (TGS), which consists of 6 pieces consisting of TGS 2600, TGS 2602, TGS 2611, TGS 2620, TGS 2612, and TGS 826. When the testing process is carried out, all gas sensors will react to the respondent's respiration gas that has been trapped and issues a response that is read in the form of a large voltage on the E-nose software. The sensor will continue to read until 383 data lines are reached for the output voltage. The data obtained is then sent to a computer to be recorded through the E-Nose data logger software and stored. on personal computer (PC). After all data is perfectly recorded, the data will be processed using computational algorithms starting from feature extraction using Principal Component Analysis (PCA), classification using the k-Nearest Neighbor (k-NN), Logistic Regression, and Support Vector Machine (SVM) methods and testing validation using the K-Fold Cross Validation method.

The results of testing the response of the E-nose sensor to samples show that E-nose is able to detect healthy breath samples and gingivitis. The TGS 2611 sensor gave the highest voltage rise response for human breath samples of 1.05 V. The cumulative variance percentage results showed that the PCA method was not able to perform feature extraction properly because the cumulative variance percentage yield of 19.64 % did not meet the established standards. Machine learning methods that use initial sets as features have higher performance than machine learning methods that use PCA as a feature extraction method with the highest performance respectively are the k-NN, SVM, and Logistic Regression methods with 91.11%, 90.00%, and 87.77% accuracy . Meanwhile, the machine learning method that uses PCA as a feature extraction method shows that the best performance respectively is the k-NN, SVM, and Logistic Regression methods with 83.33%, 82.22%, and 71.11% accuracy. Overall, the k-NN method shows the best performance in the classification process of healthy gingiva and gingivitis.

ABSTRAK

Electronic Nose (E-Nose) Berbasis Larik Sensor Gas Untuk Mendeteksi Penyakit Gingivitis Dari Napas Manusia

Achmad Ilham Fanany Al Isyrofie

Tujuan Penelitian ini adalah dapat mendeteksi gingivitis secara non-invasif dengan mengukur derajat halitosis yang diambil dari sampel napas menggunakan *Electronic Nose (E-nose)*. Pada penelitian ini sensor yang digunakan adalah 6 buah sensor Taguchi Gas Sensor (TGS). Saat proses pengujian dilakukan, semua sensor gas akan bereaksi dan mengeluarkan respon yang terbaca berupa tegangan besar pada software *E-nose*. Data yang diperoleh kemudian dikirim ke komputer untuk direkam melalui perangkat lunak *E-nose data logger* dan disimpan pada komputer (PC). Data tersebut akan diproses menggunakan algoritma komputasi mulai dari ekstraksi fitur menggunakan *Principal Component Analysis (PCA)*, klasifikasi menggunakan *k-Nearest Neighbor (k-NN)*, *Logistic Regression*, dan *Support Vector Machine (SVM)*. Metode validasi pengujian menggunakan metode *K-Fold Cross Validation*. Hasil pengujian respon sensor E-nose terhadap sampel menunjukkan bahwa *E-nose* mampu mendeteksi sampel napas sehat dan gingivitis. Sensor TGS 2611 memberikan respon kenaikan tegangan tertinggi sebesar 1,05 V. Hasil persentase varians kumulatif menunjukkan bahwa metode PCA tidak dapat melakukan ekstraksi fitur dengan baik karena hasil persentase varians kumulatif sebesar 19,64% tidak memenuhi yang telah ditetapkan standar. Metode *machine learning* yang menggunakan *initial set* sebagai fitur memiliki performa lebih tinggi dibandingkan metode machine learning yang menggunakan PCA sebagai metode ekstraksi fitur dengan performa tertinggi berturut-turut adalah metode k-NN, SVM, dan *Logistic Regression* dengan 91.11%, 90.00%, dan 87.77 % akurasi. Sementara itu, metode *machine learning* yang menggunakan PCA sebagai metode ekstraksi fitur menunjukkan kinerja terbaik berturut-turut adalah metode k-NN, SVM, dan *Logistic Regression* dengan akurasi 83,33%, 82,22%, dan 71,11%. Secara keseluruhan, metode k-NN menunjukkan performa terbaik dalam proses klasifikasi gingiva sehat dan gingivitis.

Kata kunci: Gingivitis, Halitosis, Array Gas Sensor, E-Nose, Machine Learning

ABSTRACT

Electronic Nose (E-Nose) Based on Gas Sensor Arrays to Detect Gingivitis Disease from Human Breath

Achmad Ilham Fanany Al Isyrofie

The goal of this research is to detect gingivitis non-invasively by measuring the degree of halitosis taken from a person's breath sample using Electronic Nose (E-nose). In this study, the sensors used are the Taguchi Gas Sensor (TGS). When the testing process is carried out, all gas sensors will react to the respondent's respiration. The data obtained is then sent to a computer to be recorded through the E-Nose data logger software and stored on personal computer (PC). After all data is perfectly recorded, the data will be processed using computational algorithms starting from feature extraction using Principal Component Analysis (PCA), classification using the k-Nearest Neighbor (k-NN), Logistic Regression, and Support Vector Machine (SVM) methods and testing validation using the K-Fold Cross Validation method. The results of testing the response of the E-nose sensor to samples show that E-nose is able to detect healthy breath samples and gingivitis. The TGS 2611 sensor gave the highest voltage rise response for human breath samples of 1.05 V. The cumulative variance percentage results showed that the PCA method was not able to perform feature extraction properly because the cumulative variance percentage yield of 19.64 % did not meet the established standards. Machine learning methods that use initial sets as features have higher performance than machine learning methods that use PCA as a feature extraction method with the highest performance respectively are the k-NN, SVM, and Logistic Regression methods with 91.11%, 90.00%, and 87.77% accuracy. Meanwhile, the machine learning method that uses PCA as a feature extraction method shows that the best performance respectively is the k-NN, SVM, and Logistic Regression methods with 83.33%, 82.22%, and 71.11% accuracy. Overall, the k-NN method shows the best performance in the classification process of healthy gingiva and gingivitis.

Keywords: Gingivitis, Halitosis, Array Gas Sensor, E-Nose, Machine Learning

DAFTAR ISI

Halaman Depan.....	i
Halaman Dalam	ii
Lembar Prasyarat Gelar	iii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....	iv
Halaman Penetapan Panitia Penguji Usulan Penelitian	v
Halaman Pernyataan Orisinalitas	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
RINGKASAN.....	ix
<i>SUMMARY</i>	xi
ABSTRAK.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.5.1 Manfaat Teoritis.....	5
1.5.2 Manfaat Praktis	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Mulut.....	6
2.1.1 Definisi dan Bagian Mulut.....	6
2.1.2 Penyakit Gigi dan Mulut.....	7
2.2 Bau	8
2.3 Gingivitis.....	9
2.3.1 Penyebab Terjadinya Gingivitis.....	10
2.3.2 Gingiva.....	11
2.3.3 Mikroorganisme di Dalam Mulut	11
2.4 Instrumentasi	12
2.5 <i>E-Nose</i>	13
2.5.1 Prinsip dan Struktur E-Nose	14
2.5.2 Larik Sensor Gas.....	16
2.6 Komputasi	25
2.6.1 <i>Artificial Intelligence</i>	25
2.6.2 Machine Learning	26
2.6.3 Principal Component Analysis (PCA)	27
2.6.4 <i>K-Nearest Neighbour</i> (k-NN)	31
2.6.4 <i>Logistic Regression</i>	33
2.6.4 <i>Support Vector Machine</i> (SVM).....	34
2.6.5 <i>K-Fold Cross Validation</i>	35
BAB III KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS	36
3.1 Kerangka Konseptual Penelitian	36
3.2 Hipotesis Penelitian	37
BAB IV METODE PENELITIAN	38

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian	38
4.2 Alat dan Bahan Penelitian	38
4.3 Desain Penelitian	38
4.4 Variabel Penelitian	39
4.4.1 Klasifikasi Variabel	39
4.4.2 Definisi Operasional Variabel.....	39
4.5 Desain Alat Eksperimen	40
4.6 Prosedur Penelitian.....	41
4.7 Prosedur Operasional	43
4.8 Analisis Data	43
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	45
5.1 Hasil Penelitian.....	45
5.1.1 Hasil Pengambilan Sampel Penelitian.....	45
5.1.2 Hasil Periode Pre-Heating Sensor	46
5.1.3 Hasil Uji Pengambilan Data Sampel Napas	46
5.1.4 Hasil Respon Sensor <i>Electronic Nose</i> terhadap Sampel.....	48
5.1.5 Hasil <i>Principal Component Analysis</i> (PCA)	50
5.1.6 Hasil Klasifikasi Menggunakan <i>k-NN</i> , <i>Logistic Regression</i> , dan <i>SVM</i>	52
5.2 Pembahasan.....	54
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	57
6.1 Kesimpulan.....	57
6.1 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Bagian-Bagian Mulut.....	6
Tabel 2.2 Jenis Penyakit Gigi dan Mulut.....	7
Tabel 2.3 Fungsi Utama Instrumentasi.....	12
Tabel 5.1 Data Hasil Pengujian Sampel Napas	47
Tabel 5.2 Hasil Kenaikan Tegangan (V) Tertinggi Tiap Sensor.....	50
Tabel 5.3 Hasil Perhitungan Persentase Variansi	51
Tabel 5.4 Hasil Uji Validasi Metode Machine Learning	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perangkat Hidung Elektronik Meniru Sistem Penciuman Manusia....	14
Gambar 2.2 Diagram Blok E-nose.....	16
Gambar 2.3 Linearitas Sensor.....	17
Gambar 2.4 Tanggapan Waktu pada Sensor.....	18
Gambar 2.5 Bagian-Bagian pada Sensor Gas TGS.....	20
Gambar 2.6 Elemen Sensing Sensor Gas TGS.....	20
Gambar 2.7 Sirkuit Pengukur Dasar Sensor TGS.....	21
Gambar 2.8 Karakteristik Sensitivitas Sensor TGS 2620.....	22
Gambar 2.9 Karakteristik Sensitivitas Sensor TGS 2611.....	22
Gambar 2.10 Karakteristik Sensitivitas Sensor TGS 822.....	23
Gambar 2.11 Karakteristik Sensitivitas Sensor TGS 832.....	23
Gambar 2.12 Karakteristik Sensitivitas Sensor TGS 2602.....	24
Gambar 2.13 Karakteristik Sensitivitas Sensor TGS 2600.....	24
Gambar 2.14 Karakteristik Sensitivitas Sensor TGS 826.....	25
Gambar 2.15 Karakteristik Sensitivitas Sensor TGS 825.....	25
Gambar 2.16 Transformasi Matriks Eigen.....	30
Gambar 2.17 Nilai Eigen.....	31
Gambar 2.18 Visualisasi Kerja PCA.....	31
Gambar 3.1 Bagan Kerangka Konseptual.....	34
Gambar 4.1 Desain Alat Eksperimen.....	39
Gambar 4.2 Prosedur Penelitian.....	40
Gambar 5.1 Kondisi Gigi dan Mulut Subjek Penelitian.....	45
Gambar 5.2 Grafik Pre-heating E-nose	46

Gambar 5.3 Grafik Respon Larik Sensor Gas terhadap Sampel Gingivitis	48
Gambar 5.4 Grafik Respon Larik Sensor Gas terhadap Sampel Sehat.....	49
Gambar 5.5 Grafik Respon Larik Sensor Gas Setelah Penerapan Baseline	49
Gambar 5.6 Grafik Score Plot PCA.....	52

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Sertifikat Ethical Clearance

Lampiran 2 Data Hasil Pengujian Respon Larik Sensor Gas

Lampiran 3 Listing Code Implementasi Metode PCA, k-NN, Logistic
Regression, dan SVM