

TESIS

SISTEM PENG-ANALISIS NAPAS DENGAN SENSOR MOS

A Breath Analyzer System Using MOS Sensors

ROBY TRISTIANTORO

D032182005



PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023

PENGAJUAN TESIS

SISTEM PENG-ANALISIS NAPAS DENGAN SENSOR MOS

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister
Program Studi Teknik Elektro

Disusun dan diajukan oleh

ROBY TRISTIANTORO

D032182005

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2023

TESIS

SISTEM PENG-ANALISIS NAPAS DENGAN SENSOR MOS

ROBY TRISTIANTORO

D032 182 005

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

pada tanggal 27 Januari 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. H. Andani Achmad, M.T.
NIP. 19601231 198703 1 022

Pembimbing Pendamping



Prof. Dr. Eng. Ir. Syafaruddin, S.T., M.Eng., IPU
NIP. 19740530 199903 1 003

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.
NIP. 19730926 2000 121 002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Elektro



Dr. Eng. Ir. Wardi, S.T., M.Eng.
NIP. 19720828 199903 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Roby Trisiantoro
Nomor mahasiswa : D032182005
Program studi : S2 Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “Sistem Peng-analisis Napas dengan Sensor MOS” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Prof. Dr. Ir. Andani Achmad, M.T. sebagai Pemimbing Utama dan Prof. Dr.Eng. Syafaruddin, S.T., M.Eng., IPU sebagai Pembimbing Pendamping). Karya ilmiah ini belum diajukan dan sedang tidak diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Jurnal/Prosiding (2022 6th *International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)*) sebagai artikel dengan judul “*System of Breath Analyzer based on Metal-Oxide Semiconductors*”

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 20 Februari 2023

Yang Menyatakan



Roby Trisiantoro

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang. Segala puji bagi-Nya, atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan inayah yang telah diberikan. Sehingga penulis diberi kesempatan dalam berkarya melalui tesis yang berjudul **“Sistem Peng-analisis Napas Dengan Sensor MOS”** sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) di Program Pascasarjana Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar. Shalawat serta salam ditujukan pula kepada Nabi Muhammad Shallallahu ‘Alaihi Wa Salam, yang telah menjadi cahaya yang menyinari dunia dengan segala ilmu dan tauladan yang beliau amalkan. Dalam pelaksanaan dan penulisan tesis ini, penulis mengalami banyak kendala yang telah dihadapi. Alhamdulillah, atas izin Allah SWT serta doa dan dukungan dari berbagai pihak, maka penelitian dan penulisan tesis ini dapat terselesaikan.

Dalam kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Andani Achmad, M.T. selaku ketua pembimbing sekaligus sebagai bagian dari tim penilai tesis, dan Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Syafaruddin, S.T., M.Eng., IPU selaku wakil pembimbing sekaligus bagian dari tim penilai tesis. Terima kasih atas motivasi dan bimbingan yang telah diberikan sehingga penyusunan tesis ini dapat terselesaikan. Melalui beliau berdua yang penuh kesabaran dan perhatian, telah memberikan arahan-arahan dan saran maupun kritik yang membangun pada aspek penulisan, metodologi, serta penyajian isi dari tesis ini secara keseluruhan.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Wardi, S.T., M.Eng., Bapak Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, M.T., dan Bapak Prof. Dr. Ing. Faisal Arya Samman, S.T., M.T. selaku komisi tim penguji. Terima kasih atas segala saran dan masukan, serta kerelaannya dalam meluangkan waktu mendiskusikan hal-hal yang menjadi keterbatasan kami selama penyusunan tesis ini.
3. Rektor Universitas Hasanuddin Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., Dekan Fakultas Teknik Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Irsan Ramli, S.T., M.T. beserta staff dan jajarannya, Ketua Departemen Teknik Elektro Ibu

Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T., Ketua Program Studi S2 Teknik Elektro Bapak Dr. Eng. Ir. Wardi, S.T., dan seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin yang telah memberikan kesempatan dan bekal ilmu kepada penulis, yang sangat berarti dalam menyelesaikan studi sampai pada terselesaikannya tesis ini. Kepada seluruh staff S2 Teknik Elektro Universitas Hasanuddin, yang telah memberikan layanan terbaik pada aspek administrasi selama penulis menjalani studi di Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin.

4. Para sahabat, teman seangkatan, amupun sesama mahasiswa Teknik Elektro Universitas Hasanuddin yang tidak mampu saya sebutkan satu per satu. Terima kasih atas segala doa dan dukungannya selama ini. Semoga silaturahmi kita tetap bisa terjaga dan terus bersama mengembangkan ilmu pengetahuan.

Akhirnya, Kedua orang tua saya yang tercinta saya ucapkan terima kasih dan sembah sujud atas doa, pengorbanan, dan motivasi yang telah meraka berikan kepada saya hingga saat ini. Akhir kata, Penulis sangat berharap semoga penelitian ini dapat memberi kontribusi pada masyarakat dan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Gowa, Februari 2023

Penulis

ABSTRAK

Roby Tristianoro. *Sistem Peng-analisis Napas Dengan Sensor MOS*
(dibimbing oleh **Andani Achmad** dan **Syafaruddin**)

Napas manusia mengandung senyawa volatil organik atau *volatile organic compounds* (VOC), yang dapat dijadikan acuan dalam pemantauan kondisi tubuh manusia. Desain sistem penganalisa napas dengan mengoptimalkan sensor gas yang berperan mendeteksi beberapa jenis gas yang dihasilkan napas manusia. Pengukuran konsentrasi gas, dilakukan dengan menggunakan sensor gas berbasis *metal-oxide semiconductors* (MOS) dan mengoptimalkan pembacaan konsentrasi gas dalam Part per Milion (PPM) dengan menggunakan persamaan yang telah diestimasi dan diterapkan kedalam program. Metode yang digunakan dalam penentuan rumus konversi pada sistem, menggunakan analisa regresi non-linear transformasi logaritma untuk konversi dari resistansi sensor R_s menjadi satuan konsentrasi gas ppm. Sedangkan, dalam penentuan faktor koreksi sensor dengan mempertimbangkan kondisi suhu dan kelembaban saat pengukuran, menggunakan analisa gabungan antara regresi non-linear model kubik dan regresi linear. Faktor koreksi yang diusulkan memiliki perhitungan yang lebih kompleks. Namun, mampu memberikan keakuratan yang lebih baik. Dengan tingkat keakuratan masing-masing sebesar 98,22% pada persamaan gas ammonia dan 97,83% untuk gas etanol. Desain ruang pengukuran pada sistem ini menggunakan pipa inlet searah yang mampu meminimalisir terjadinya perubahan arah aliran udara dan meminimalisir tekanan berlebih pada sensor yang dapat mengganggu proses pengukuran.

Kata kunci: Sensor gas, Napas, Semikonduktor, Kesehatan

ABSTRACT

Roby Tristianoro. *System of Breath Analyzer Using MOS Sensor* (supervised by **Andani Achmad** and **Syafaruddin**)

Human breath contains volatile organic compounds (VOC), which can be used as a reference in monitoring the condition of the human body. Design of a breath analyzer system by optimizing gas sensors that can be use for detecting several types of gases produced by human breath. Gas concentration measurements are carried out using gas sensors based on metal-oxide semiconductors (MOS) and optimize the reading of gas concentrations in Parts per Million (PPM) using the equations that have been estimated and applied to the program. The method used for determining the conversion formula for the system uses a non-linear logarithmic regression analysis to convert the resistance of the RS sensor into ppm gas concentration units. Meanwhile, in determining the sensor correction factor by considering the temperature and humidity conditions at the time of measurement, using a combined analysis of non-linear cubic model regression and linear regression. The proposed correction factor has a more complex calculation. However, it is capable of providing better accuracy. With an accuracy level of 98.22% for the ammonia gas equation and 97.83% for ethanol gas respectively. The measurement room design in this system uses a one-way inlet pipe which is able to minimize changes in the airflows direction and minimize excess pressure on the sensor which can interfere with the measurement process.

Keywords: Gas sensors, Breath, Semiconductors, Health

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PENGAJUAN TESIS.....	ii
PERSETUJUAN TESIS	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Landasan Teori	6
2.1.1 Analisis Napas.....	6
2.1.1.1 Analisis amonia.....	9
2.1.1.2 Analisis etanol.....	9
2.1.1.3 Analisis aseton	9
2.1.2 Sensor Gas MOS	11
2.1.3 Arduino Nano.....	19
2.1.4 Analisa Regresi	20
2.1.4.1 Analisa regresi linear.....	21
2.1.4.2 Analisa regresi non-linear	23
2.2 Penelitian Terkait	25

2.3 Kerangka Pikir.....	30
BAB II METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1 Tahapan Penelitian	31
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	32
3.3 Jenis Penelitian	33
3.4 Instrumen Penelitian.....	33
3.5 Rancangan Sistem	33
3.6 Teknik Pengumpulan Data	35
3.6.1 Data Sekunder	35
3.6.2 Data Primer	41
3.7 Rancangan dan Rangkaian Sistem	41
3.8 Metode Analisis dan Validasi	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	44
4.1 Analisis Persamaan Sistem.....	44
4.1.1 Analisa grafik <i>datasheet</i>	44
4.1.2 Analisa grafik faktor koreksi.....	50
4.2 Analisa Hasil Persamaan	56
4.2.1 Persamaan amonia.....	57
4.2.2 Persamaan aseton	60
4.2.3 Persamaan etanol.....	63
4.2.4 Persamaan faktor koreksi	66
4.3 Implementasi Program	70
4.3.1 Tegangan Sensor	71
4.3.2 Resistansi Sensor.....	71
4.3.3 Faktor Koreksi.....	72
4.3.4 Konsentrasi Gas	72
4.3.5 Kalibrasi	73
4.4 Pengujian dan Validasi Sistem Pengukuran.....	74
4.4.1 Gas Etanol	74
4.4.2 Gas Amonia.....	77
4.4.3 Pengujian analisa napas.....	80
4.5 Analisa Desain <i>Hardware</i> Instrumen.....	83

BAB V PENUTUP	86
5.1 Kesimpulan.....	86
5.2 Saran.....	87
DAFTAR PUSTAKA.....	88
LAMPIRAN.....	92

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
Gambar 1 Mekanisme penginderaan pada material metal-oxide semiconductors tipe-n (Zhou, et al., 2018).....	12
Gambar 2 Rangkaian sensor untuk pengukuran kadar gas (Zhou, et al., 2018)..	13
Gambar 3 Karakteristik dan sensitivitas sensor gas MQ-135.....	15
Gambar 4 Konfigurasi sensor gas MQ-135	16
Gambar 5 Arduino nano	19
Gambar 6 Kerangka pikir penelitian	30
Gambar 7 Diagram alir penelitian	31
Gambar 8 Instrumen rancangan sistem	34
Gambar 9 Rancangan sistem analisis napas	34
Gambar 10 Grafik karakteristik dan sensitivitas sensor gas MQ-135	36
Gambar 11 Tampilan awal aplikasi Webplotdigitizer (kanan) dan tampilan penyesuaian sumbu x dan sumbu y pada gambar yang di unggah (kiri)	37
Gambar 12 Contoh pengambilan dataset pada grafik gas amonia (NH ₄).....	38
Gambar 13 Grafik karakteristik sensor gas MQ-135 terhadap suhu dan kelembaban	39
Gambar 14 Rangkaian skematik sistem	42
Gambar 15 Desain PCB sensor pada sistem.....	43
Gambar 16 Grafik karakteristik dan sensitifitas sensor gas MQ-135 dari datasheet berdasarkan aplikasi Webplotdigitizer.....	44
Gambar 17 Grafik karekteristik sensor MQ-135 terhadap suhu dan kelembaban berdasarkan aplikasi Webplotdigitizer.....	51
Gambar 18 Grafik pengaruh suhu dan kelembaban dengan garis tren.....	52
Gambar 19 Grafik hasil persamaan sistem	56
Gambar 20 Grafik perbandingan hasil persamaan gas amonia	58
Gambar 21 Grafik perbandingan persamaan amonia library MQunified dengan datasheet MQ-135	59
Gambar 22 Grafik perbandingan persamaan amonia sistem dengan datasheet MQ-135.....	60

Gambar 23	Grafik perbandingan hasil persamaan gas aseton.....	61
Gambar 24	Grafik perbandingan persamaan aseton library MQunified dengan datasheet MQ-135.....	62
Gambar 25	Grafik perbandingan persamaan aseton sistem dengan datasheet MQ- 135.....	63
Gambar 26	Grafik perbandingan hasil persamaan gas etanol.....	64
Gambar 27	Grafik perbandingan persamaan etanol library MQunified dengan datasheet MQ-135.....	65
Gambar 28	Grafik perbandingan persamaan etanol sistem dengan datasheet MQ- 135.....	66
Gambar 29	Grafik respon sensor terhadap pengaruh suhu dan kelembaban.....	68
Gambar 30	Grafik perbandingan faktor koreksi datasheet sensor MQ-135 dengan persamaan faktor koreksi library MQunified.....	69
Gambar 31	Grafik perbandingan faktor koreksi datasheet sensor MQ-135 dengan persamaan faktor koreksi sistem.....	70
Gambar 32	Alat ukur alkohol AMT6000.....	75
Gambar 33	Grafik perbandingan hasil pengukuran sistem dengan alat AMT6000	77
Gambar 34	Instrumen pengukur amonia Hydrion AM-40.....	78
Gambar 35	Grafik perbandingan hasil pengukuran sistem dengan alat Hydrion AM-40.....	79
Gambar 36	Hasil pengukuran etanol dalam napas.....	80
Gambar 37	Hasil pengukuran etanol napas yang berbeda.....	81
Gambar 38	Hasil analisa napas individu sehat.....	82
Gambar 39	Desain wadah instrumen sistem.....	83
Gambar 40	Perbandingan grafik pengukuran dengan (a) pipa inlet konvensional; (b) pipa inlet searah.....	84

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
Tabel 1 Material komponen penyusun sensor gas MQ-135	18
Tabel 2 Spesifikasi Arduino nano	20
Tabel 3 State of the arts	25
Tabel 4 Contoh hasil pengambilan data grafik amonia (NH_4)	39
Tabel 5 Hasil pengambilan dataset pengaruh suhu dan kelembaban sensor gas MQ-135	40
Tabel 6 Data hasil perhitungan tiap jenis gas (dengan $n=10$)	46
Tabel 7 Nilai koefisien hasil analisa regresi	48
Tabel 8 Nilai-nilai koefisien hasil analisa regresi	53
Tabel 9 Hasil pengukuran dengan sistem dan alat AMT6000	76
Tabel 10 Hasil pengukuran konsentrasi amonia.....	78

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Analisis napas merupakan salah satu metode tertua yang digunakan untuk mendeteksi penyakit. Metode tersebut digunakan untuk mendeteksi penyakit pada masa Yunani kuno, dimana beberapa ilmuwan menggunakan napas untuk mendeteksi berbagai macam penyakit (Morisco, et al., 2013 dan Arasaradnam, et al., 2014). Para ilmuwan membedakan jenis penyakit yang ditemui berdasarkan aroma dari gas pernapasan. Penyakit tertentu memiliki hubungan langsung dengan aroma pada napas manusia. Sebagai contoh, bau amis napas berkaitan dengan penyakit hati, bau seperti urin dapat menggambarkan penyakit gagal ginjal, pasien diabetes mengeluarkan aroma manis pada napasnya karena kehadiran aseton dalam napas mereka, atau aroma anggur yang menunjukkan penyakit infeksi *Pseudomonas* (Horvath, et al., 2009 dan Fens, et al., 2013).

Analisis napas memberikan alternatif yang sederhana dan nyaman dibandingkan dengan diagnosa medis secara tradisional di klinik laboratorium, karena ini tidak melukai, tidak menyakitkan, hemat biaya dan dapat dengan mudah diulang (Huiling et al, 2020). Ketika manusia membuang napas dari mulut, ribuan molekul dilepaskan ke udara. Komposisi sampel napas sering diidentifikasi sebagai *Volatile Organic Compounds* (VOC) atau campuran senyawa organik yang mudah menguap (misalnya, aseton, isoprena, etana dan pentana), gas sederhana (mis., NO, CO₂, dan CO), dan bahkan zat yang mudah menguap (misalnya isoprostanes, peroksinitrit, sitokinin) (Pleil, 2008).

Keuntungan potensial dari analisis napas dibandingkan tes medis konvensional lainnya termasuk bahwa ini merupakan metode yang sama sekali tidak melukai dan tidak menyakitkan untuk menilai kondisi kesehatan seseorang, metode pengambilan sampel analisis napas sangat mudah dioperasikan karena tidak memerlukan staf yang terampil dalam pengoperasiannya dan dapat digunakan untuk orang-orang dari segala usia dan kondisi. Analisis napas dapat dilakukan

dengan beberapa teknik, termasuk kromatografi gas, spectrometer massa, dan spektroskopi infra merah. Namun, metode-metode tersebut menggunakan alat dengan dimensi yang besar dan relatif mahal. Metode yang lebih ringkas dan murah memungkinkan untuk dilakukan dengan menggunakan sensor berbasis *metal-oxide semiconductors* (MOS). Dalam beberapa tahun terakhir, analisis napas menarik banyak perhatian karena potensi besar dalam diagnostik klinis dan penilaian dampak (Beauchamp, 2015).

Beberapa penelitian terkait analisis napas telah dilakukan, antara lain seperti pada penelitian (Mardikar, 2015) telah dilakukan pengamatan respon gas dari amoniak terhadap sensor berbasis *metal-oxide semiconductors*, dimana pada penelitian ini menghasilkan hubungan yang berbanding lurus antara jumlah gas amoniak yang terukur dengan tegangan keluran sensor. Selain itu, pada penelitian (Saidi, 2015) telah dilakukan pembuatan prototipe untuk menganalisa napas manusia dengan menggunakan susunan sensor MQ-series untuk mengidentifikasi penyakit dan status aktivitas merokok setiap individu. Namun, pada penelitian yang dilakukan sebelumnya, dalam penggunaan sensor gas berbasis MOS khususnya sensor MQ-series tidak dilengkapi dengan sensor suhu dan kelembaban. Dimana dalam pengaplikasiannya sensor gas berbasis MOS biasanya mudah terpengaruh dengan perubahan suhu dan temperatur. Sedangkan, pengukuran napas manusia menghasilkan napas yang cenderung dalam keadaan lembab dan hangat. Oleh karena itu, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya penulis mengusulkan penelitian yang bertujuan untuk membuat suatu sistem yang dapat menggambarkan kondisi gas pada napas manusia dengan meminimalisir jumlah sensor, namun mampu mengidentifikasi beberapa jenis gas pada napas manusia. Sehingga penelitian ini dapat menjadi acuan untuk menentukan jenis penyakit yang diderita seseorang berdasarkan jumlah dari berbagai jenis partikel gas yang dikeluarkan saat bernapas.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dibahas pada penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana membuat program pembacaan gas untuk analisis napas manusia menggunakan sensor berbasis *metal-oxide semiconductor* (MOS)?
2. Bagaimana cara mengoptimalkan kemampuan sensor gas berbasis MOS dengan mempertimbangkan pengaruh suhu dan kelembaban saat pengukuran?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan prototipe sistem sensor untuk menganalisa napas manusia. Adapun tujuan penelitian ini berdasarkan rumusan masalah adalah sebagai berikut;

1. Membuat program pembacaan nilai besaran jenis gas pada napas manusia.
2. Menganalisis kinerja sensor dalam penentuan jenis gas dan nilai besarnya, sehingga dapat diketahui cara meningkatkan keakuratan dengan mempertimbangkan pengaruh suhu dan kelembaban dalam proses pembacaan data dalam sistem sensor ini.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memiliki manfaat seperti yang diuraikan sebagai berikut:

1. Secara umum, penelitian ini memiliki manfaat untuk meningkatkan keahlian dalam perancangan dan menghasilkan produk instrumentasi.
2. Bagi teknologi medis, penelitian ini memberikan alternatif lain untuk prosedur diagnosa kondisi kesehatan manusia yang mudah, tanpa rasa sakit, dan tidak melukai.
3. Bagi penulis, penelitian ini memiliki manfaat untuk memenuhi persyaratan penulis untuk menyelesaikan studi Magister Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini akan membahas seputar perancangan sistem untuk mengoptimalkan kinerja sensor gas berbasis MOS yang mampu mengukur kandungan dari jenis-jenis gas pada napas manusia melalui proses pembuatan program, penentuan kadar dari jenis-jenis gas tertentu beserta satuan yang digunakan, penyajian data dalam program GUI, hingga laporan penelitian. Perlu diketahui pula, bahwa deteksi penyakit tidak termasuk dalam penelitian ini.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Bab I berisi penjelasan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab II berisi penjelasan tentang landasan teori yang digunakan dalam penelitian. Diuraikan pula tentang tinjauan pustaka yang merupakan penjelasan tentang hasil-hasil penelitian lainnya yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan kemudian *state of the art* dari penelitian ini. Landasan teori merupakan suatu penjelasan tentang sumber acuan terbaru dari pustaka primer seperti buku, artikel, jurnal, prosiding dan tulisan asli lainnya untuk mengetahui perkembangan penelitian yang relevan dengan judul atau tema penelitian yang dilakukan dan juga sebagai arahan dalam memecahkan masalah yang diteliti. Dalam bab ini juga diuraikan tentang kerangka pemikiran yang merupakan penjelasan tentang kerangka berpikir untuk memecahkan masalah yang sedang diteliti, termasuk menguraikan objek penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab III ini merupakan penjelasan tentang tahapan penelitian, waktu dan lokasi penelitian, jenis penelitian, perancangan sistem, sumber data, instrumentasi penelitian. Penjabaran masing-masing poin bertujuan untuk menjelaskan konsep

dan teknik dalam perencanaan kegiatan penelitian yang akan dilakukan secara terperinci.

BAB IV HASIL DAN DISKUSI

Bab iv ini berisi penjelasan tentang hasil yang diperoleh pada penelitian ini beserta penjabaran mengenai metode yang digunakan. Penelitian ini menghasilkan persamaan-persamaan yang dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi gas dan ada pula persamaan faktor koreksi yang mempertimbangkan pengaruh suhu dan kelembaban saat pengukuran konsentras gas. Selain itu, disajikan pula hasil dan pembahasan tentang hasil uji coba sistem.

BAB V PENUTUP

Bab v ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini. Serta di berikan pula saran untuk dapat lebih mengembangkan sistem pada penelitian ini

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Analisis Napas

Analisis napas, atau bisa juga disebut tes napas atau *exhaled breath analysis*, adalah suatu metode diagnosa non-invasif yang melibatkan pengukuran keberadaan beberapa senyawa di dalam napas manusia (Das et al., 2020). Beberapa senyawa dalam pengukuran ini dapat berupa karbon dioksida (CO₂) dan oksigen (O₂), begitu pula senyawa volatil organik atau *volatile organic compound* (VOC), yang merupakan senyawa dengan molekul yang sangat kecil dan mudah menguap dalam kondisi suhu ruang. Analisis napas dapat digunakan untuk beberapa tujuan seperti diagnosa medis, mendeteksi keberadaan beberapa penyakit tertentu, pemantauan efektifitas suatu pengobatan, dan mengidentifikasi keberadaan suatu zat narkoba dan racun di dalam tubuh.

Analisis napas merupakan salah satu bentuk diagnosis penyakit tertua. Penggunaannya untuk diagnosa penyakit berasal dari zaman Yunani kuno di mana dokter menggunakan napas yang dihembuskan untuk mendiagnosis berbagai penyakit (Morisco et al., 2013 dan Arasaradnam et al., 2014). Para ilmuwan mengetahui bahwa aroma napas yang dihembuskan manusia bisa memberikan petunjuk pada penyakit. Penyakit tertentu memiliki hubungan dengan kondisi napas. Sebagai contoh, aroma amis napas berhubungan dengan penyakit hati, aroma seperti urin dapat menyertai gagal ginjal, pasien diabetes sering menghembuskan aroma manis karena adanya aseton dalam napas mereka, aroma anggur dari infeksi *Pseudomonas* (Horvarth, et al., 2009 dan Fens, et al., 2013). atau bau selokan dari napas pasien dengan abses paru-paru, yang disebabkan oleh proliferasi bakteri anaerob (Probert, 2009 dan Ulanowska, 2008).

Baik metode kualitatif maupun kuantitatif untuk penentuan zat kimia dalam napas termasuk dalam analisis napas. Pada tahun 1970-an, Linus Pauling

mengemukakan pendapat (walaupun tanpa mengidentifikasi) bahwa sekitar 200 *Volatile Organic Compounds* (VOC) yang berbeda dalam kromatografi gas napas yang dihembuskan manusia. Hal itu menunjukkan bahwa dalam keadaan normal, napas manusia adalah campuran gas dengan komposisi kompleks. Dalam 30 tahun terakhir, para peneliti mengidentifikasi banyak senyawa ini. Ternyata napas yang dihembuskan manusia mengandung banyak VOC, seperti aseton, metanol atau isoprena dan bahkan molekul anorganik kecil seperti nitrat oksida, karbon monoksida atau karbonil sulfida (Miekisch, et al., 2004 dan Zolotov, 2005).

Mashir (2009) menyatakan bahwa salah satu kelebihan utama dari analisis napas adalah dapat dilakukan tanpa melukai pasien. Tidak seperti metode diagnosa tradisional, seperti tes darah dan biopsy, analisis napas tidak melibatkan proses penusukan atau memasukkan benda atau alat ke dalam tubuh melalui kulit. Hal ini membuat analisis napas sebagai metode yang relatif tidak beresiko dan tidak menyakitkan untuk memperoleh informasi hasil diaognosis.

Kelebihan lain dari analisis napas adalah efektifitasnya dalam segi biaya. Analisis napas dapat dilakukan dengan cara yang relatif sederhana dan peralatan yang lebih murah, seperti gawai penganalisis napas, membuatnya menjadi pilihan yang hemat biaya untuk keperluan medis professional maupun rumah tangga. Terlebih lagi, analisis napas dapat dilakukan secara berulang sesering mungkin, dengan hampir tanpa biaya tambahan (Dharmawardana et al., 2020).

Analisis napas dapat dilakukan dengan beberapa teknik, termasuk kromatografi gas, spectrometer massa, dan spektroskopi infra merah. Teknik-teknik tersebut memungkinkan untuk mengidentifikasi dan mengukur secara spesifik kehadiran senyawa di dalam napas.

Salah satu penggunaan umum dari analisis napas adalah untuk mendiagnosa beberapa kondisi kesehatan, seperti kanker paru-paru, asma, dan penyakit paru obstruktif kronis atau *chronic obstructive pulmonary disease* (COPD). Sebagai contoh, pengesanan napas dengan menggunakan alat bernama spirometer dapat mengukur jumlah oksigen dalam hembusan napas seseorang, dan dapat digunakan untuk diagnosa penyakit gagal fungsi paru-paru (Christiansen et al., 2016).

Penggunaan lain dari analisis napas adalah untuk mendeteksi beberapa penyakit seperti *Helicobacter pylori* (H.pylori) yang dikaitkan dengan tukak lambung dan kanker. Analisa napas adalah teknik yang tidak menyakitkan yang dapat digunakan untuk mengukur pH dan beberapa tingkat biomarker (tanda-tanda biologis) dalam napas, yang dapat mengindikasikan keberadaan H.pylori (Ulanowska et al., 2011).

Dalam beberapa tahun terakhir, ketertarikan dalam penggunaan analisis napas dengan sensor telah meningkat. Sensor tersebut dapat mendeteksi beberapa senyawa di dalam napas dan memiliki potensi untuk digunakan sebagai deteksi awal suatu penyakit, seperti kanker, begitupun dalam pemantauan efektifitas suatu pengobatan. Sebagai contoh, teknologi penganalisis napas telah dikembangkan sehingga dapat mendeteksi VOC di dalam napas dengan lebih spesifik untuk mendeteksi lebih awal keberadaan penyakit kanker paru-paru.

Analisis napas dapat pula digunakan untuk mendeteksi keberadaan dari beberapa jenis obat-obatan, seperti narkoba, atau racun di dalam tubuh. Sebagai contoh, tes napas dapat digunakan untuk mendeteksi jumlah alcohol di dalam tubuh dan biasa digunakan dalam penegakan hukum untuk mengidentifikasi pengemudi yang mabuk. Sama seperti, tes napas yang dapat pula digunakan untuk mendeteksi keberadaan suatu jenis narkoba seperti ganja, kokain, dan opioids (Trefz., 2017).

Penerapan lain dari analisis napas adalah dalam bidang ilmu olahraga, dimana analisis napas dapat digunakan untuk memantau kebugaran dan nutrisi seorang atlet. Sebagai contoh, pengukuran beberapa senyawa dalam napas, seperti laktat dan glukosa, dapat menyediakan informasi mengenai metabolisme nutrisi seorang atlet dan dapat membantu mengoptimalkan performa dan latihan mereka (Heaney et al., 2017).

Analisis napas juga telah dipelajari sebagai alat yang potensial untuk memantau kualitas udara dan paparan racun suatu lingkungan. Seperti contoh, pengukuran VOC di dalam napas dapat memberikan informasi seputar paparan polusi seperti pestisida, pelarut, dan zat petrokimia (Yuan et al., 2022). Berdasarkan senyawa yang diukur, analisis napas terbagi menjadi beberapa jenis, seperti analisis amonia, analisis etanol/alkohol, analisis aseton, dan lain-lain.

2.1.1.1 Analisis amonia

Hembusan napas yang dihasilkan oleh individu yang sehat, mengandung amonia dengan konsentrasi yang relatif rendah. Adanya peningkatan konsentrasi amonia yang tidak wajar dapat mengindikasikan adanya gangguan pada hati dan ginjal. Sebab inilah yang menjadi dasar amonia untuk digunakan sebagai biomarker untuk mendeteksi penyakit tersebut (Shetty, et al., 2022).

Kandungan amonia yang dihembuskan saat bernapas pada kondisi orang yang sehat adalah sekitar 0,25 ppm. Apabila seseorang mengalami penyakit terkait gangguan ginjal, konsentrasinya menjadi meningkat. Bahkan mencapai hingga 4,88 ppm pada orang yang menderita penyakit ginjal stadium akhir atau Last-stage renal disease (LSRD) (Shetty, et al., 2022).

2.1.1.2 Analisis etanol

Identifikasi konsentrasi kandungan etanol pada hembusan napas merupakan hal yang baru dalam analisis napas. Pengaplikasian dari identifikasi etanol pada hembusan napas ini bermanfaat untuk mendeteksi pengemudi dan operator alat berat apakah dalam keadaan mabuk atau tidak serta steatosis hati. Konsentrasi etanol pada hembusan napas oleh manusia yang sehat adalah kurang dari 0,38 ppm. Namun, konsumsi alkohol berlebih, keracunan dan penyakit hati berlemak dapat meningkatkan konsentrasinya hingga 2,3 ppm (Mojumder, et al., 2022).

2.1.1.3 Analisis aseton

Di antara senyawa yang terkandung dalam hembusan napas, keberadaan senyawa aseton diasosiasikan dengan metabolisme lemak. Khususnya, aseton dalam plasma dipertukarkan pada saluran udara dan kemudian diekskresikan melalui napas. Konsentrasi aseton napas yang tinggi teridentifikasi saat orang melakukan diet *ketogenik*, puasa, atau berolahraga. Selain itu, terdapat korelasi yang kuat antara peningkatan konsentrasi aseton napas dan laju kehilangan lemak. Kandungan aseton ada napas juga dianggap sebagai *biomarker* untuk penyakit diabetes. Dalam kondisi kekurangan insulin, tubuh beralih mengonsumsi lemak

untuk energi dari pada glukosa, yang memicu produksi *ketone bodies* berlebih (Chuang, et al., 2018).

Dalam kondisi normal, konsentrasi aseton pada tiap individu yang sehat kurang dari 1 ppm. Konsentrasi aseton yang lebih tinggi dari 1,71 ppm, dapat mengindikasikan bahwa pasien menderita diabetes tipe 2. Sedangkan konsentrasi aseton dalam napas dengan rata-rata 2,19 mengindikasikan pasien menderita diabetes tipe 1. Secara keseluruhan, konsentrasi mulai dari 1 ppm hingga 10 ppm dapat memungkinkan pasien menderita diabetes tipe 1 hingga 3 (Chuang, et al., 2018).

Analisis napas memberikan alternatif lain yang sederhana dan nyaman untuk diagnosa medis tradisional yang dilakukan di laboratorium, karena metode ini tidak melukai, tidak menyakitkan, hemat biaya, dan dapat dengan mudah dilakukan. Ketika manusia bernapas, ribuan molekul dikeluarkan dari mulut ke udara. Komposisi sampel napas sering diidentifikasi sebagai *Volatile Organic Compounds* (VOC) (misalnya, aseton, isoprena, etana dan pentana), gas sederhana (misalnya, NO, CO₂, dan CO), dan bahkan zat yang tidak mudah menguap (misalnya isoprostanes, peroksinitrit, sitokin) (Pleil, 2008). Selain oksigen, nitrogen, karbon dioksida dan uap air, napas manusia mengandung ratusan *Volatile Organic Compounds* (VOC) yang variasi konsentrasi dapat berfungsi sebagai penanda biologis untuk penyakit tertentu. Baru-baru ini terbukti bahwa ada sekitar 3000 VOC telah terdeteksi setidaknya dalam sekali hembusan napas manusia, dan sebagian besar sampel napas biasanya mengandung lebih dari 200 VOC. Analisis terperinci komposisi mereka dapat memberikan ciri khas yang beragam dari proses fisiologis yang terjadi dalam tubuh (yaitu *breath print*) dan di sepanjang jalur makanan atau penyerapan karena molekul-molekul ini telah diproduksi oleh endogen dan eksogen. Jika dilakukan pengumpulan dan menganalisis "*breath print*" ini dengan benar, maka metode ini dapat digunakan untuk memberikan informasi status kesehatan terkini dengan potensi untuk memprediksi kondisi kesehatan yang akan datang (Bajtarevic, 2009). Dalam hal ini, pengembangan perangkat efisien yang secara praktis dapat digunakan untuk analisis dan kuantitas

berbagai senyawa organik yang mudah menguap dalam napas manusia telah membangkitkan minat besar dalam beberapa tahun terakhir.

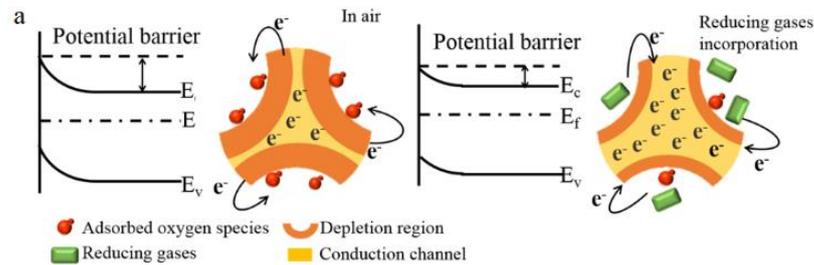
2.1.2 Sensor Gas MOS

Sensor gas MOS (*metal-oxide semiconductors*) adalah salah satu tipe sensor gas yang menggunakan lapisan metal oksida sebagai elemen pengindraannya. Lapisan metal oksida yang digunakan biasanya terbuat dari material seperti timah oksida (SnO_2), seng oksida (ZnO), atau titanium oksida (TiO_2). Material-material mampu mendeteksi perubahan atau kehadiran suatu gas dengan berupa respon perubahan nilai resistansi.

Prinsip dasar dari sensor gas MOS adalah perubahan nilai resistansi dari lapisan material metal oksida saat terpapar gas tertentu. Perubahan resistansi ini dapat diukur dengan menggunakan rangkaian listrik dan digunakan untuk menentukan konsentrasi dari gas target. Sensor gas MOS sering diaplikasikan dalam keperluan pengukuran kualitas udara, kontrol proses di industry, dan pengukuran emisis kendaraan.

Salah satu kelebihan sensor gas MOS adalah sensor ini relatif murah dan mudah dalam proses fabrikasinya. Sensor ini juga memiliki waktu respon yang cepat dan sensitifitas yang tinggi untuk rentang pengukuran gas yang luas.

Aktivitas penginderaan gas dari oksida logam didasarkan pada perubahan resistansi semikonduktor ketika terpapar gas target. Resistensi oksida dapat meningkat atau menurun tergantung pada sifat fisik dan analit gasnya. Mekanisme penginderaan semikonduktor tipe-n diilustrasikan pada Gambar 1. Untuk semikonduktor tipe-n yang pembawa arusnya adalah elektron (e^-), di bawah atmosfer sekitar, molekul oksigen teradsorpsi ke permukaan oksida dan mengikat elektron dari permukaan untuk membentuk spesies aktif seperti O^{2-} dan O^- , mengurangi elektron kepadatan dan meningkatkan resistensi oksida (Yamazoe, 2003).



Gambar 1 Mekanisme penginderaan pada material metal-oxide semiconductors tipe-n (Zhou, *et al.*, 2018)

Gambar 1 mendeskripsikan Distribusi elektron oksida hanya dapat dipengaruhi dalam kedalaman terbatas dari permukaan oleh spesies oksigen teradsorpsi. Daerah yang terpengaruh dengan kerapatan elektron rendah disebut lapisan penipisan, yang kedalamannya dari permukaan disebut sebagai panjang Debye (L), biasanya beberapa nanometer (Yamazoe, *et al.*, 2003). Perhitungan panjang Debye semikonduktor diberikan dalam Persamaan 1 (Zhou, *et al.*, 2018).

$$L_D = \sqrt{\frac{\epsilon k_B T}{q^2 N_d}}$$

Keterangan:

L_D = Panjang Debye

ϵ = Konstanta dielektrik

k_B = Konstanta boltzman

T = Suhu absolut (Kelvin)

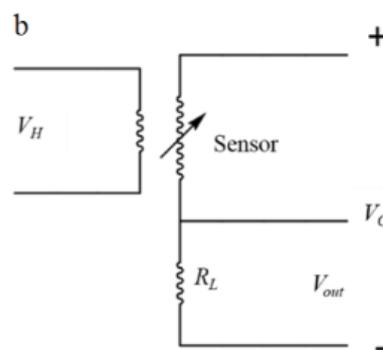
q = Muatan elementer

N_d = Densitas dopan

dimana ϵ adalah konstanta dielektrik, k_B adalah konstanta Boltzmann, T adalah suhu absolut dalam Kelvin, q adalah muatan elementer, dan N_d adalah densitas dopan (baik donor atau akseptor).

Ketika oksida tipe-n terpapar dalam gas pereduksi seperti CO, H₂, CH₄, etanol, dan aseton, elektron dapat 'dikembalikan' ke oksida yang terkuras melalui reaksi permukaan antara spesies oksigen teradsorpsi dan gas pereduksi, oleh karena itu, resistansi logam oksida berkurang; sementara analit pengoksidasi (Cl₂, NO_x,

SO₂, dll.) dapat mengintensifkan penipisan elektron dan menyebabkan peningkatan resistensi. Untuk semikonduktor tipe-p yang pembawa arusnya berlubang (h⁺), resistansi berubah terhadap pengurangan gas dan gas pengoksidasi berlawanan dengan oksida tipe-n (Zhou, et al., 2018). Dalam sensor tipe resistif, bahan penginderaan oksida logam disimpan di dua atau lebih elektroda yang mengukur perubahan resistansi listrik oksida ketika terpapar gas target. Sirkuit listrik tipikal yang disederhanakan dari pengukuran sensor gas ditunjukkan pada Gambar 2.2. Bahan penginderaan dihubungkan secara elektrik ke sirkuit pemisah tegangan termasuk resistor beban tertentu yang dihubungkan secara seri. Resistansi bahan penginderaan dan perubahan resistansi terhadap paparan terhadap gas target dapat dihitung dari tegangan output resistor beban. Resistor beban yang sesuai (R_L) yang resistansinya sebanding dengan bahan penginderaan diperlukan untuk memastikan akurasi perhitungan. Biasanya, pemilihan R_L dilakukan secara manual pada jenis awal sistem pengukuran (Zhou, et al., 2018).



Gambar 2 Rangkaian sensor untuk pengukuran kadar gas (Zhou, et al., 2018)

Keterangan:

V_H = Tegangan pada *heater* (Volt)

V_C = Tegangan pada sensor (Volt)

V_{out} = Tegangan keluaran / tegangan pada R_L (Volt)

R_L = Resistansi Beban (Ohm)

Rangkaian pada gambar 2 merupakan rangkaian parallel yang akan menimbulkan efek pembagi tegangan. Rangkaian ini berguna untuk menentukan nilai tegangan dari persamaan pembagi tegangan. Dimana sebelum dilakukan

pengukuran akan diperlukan proses pemanasan sensor untuk mencapai kondisi kerja optimal sensor. Elemen pemanas dan elemen penginderaan akan diberi tegangan sumber V_{CC} . Berdasarkan Hukum Ohm, maka digunakan persamaan pada rangkaian ini, yaitu:

$$I = \frac{V}{R}$$

$$I = \frac{V_{CC}}{R_S + R_L}$$

Keterangan:

I = Kuat arus (Ampere)

V = Tegangan (Volt)

R_S = Resistansi Sensor (Ohm)

R_L = Resistansi Beban (Ohm)

Berdasarkan gambar 2, dapat diperkirakan nilai tegangan output pada resistor beban V_{RL} dengan menggunakan nilai I dari Hukum Ohm pada persamaan berikut

$$V = I \cdot R$$

$$V_{RL} = \left(\frac{V_{CC}}{R_S + R_L} \right) \cdot R_L$$

$$V_{RL} = \frac{V_{CC} \cdot R_L}{R_S + R_L}$$

Keterangan:

I = Kuat arus (Ampere)

V_{CC} = Tegangan Rangkaian (Volt)

V_{RL} = Tegangan pada R_L

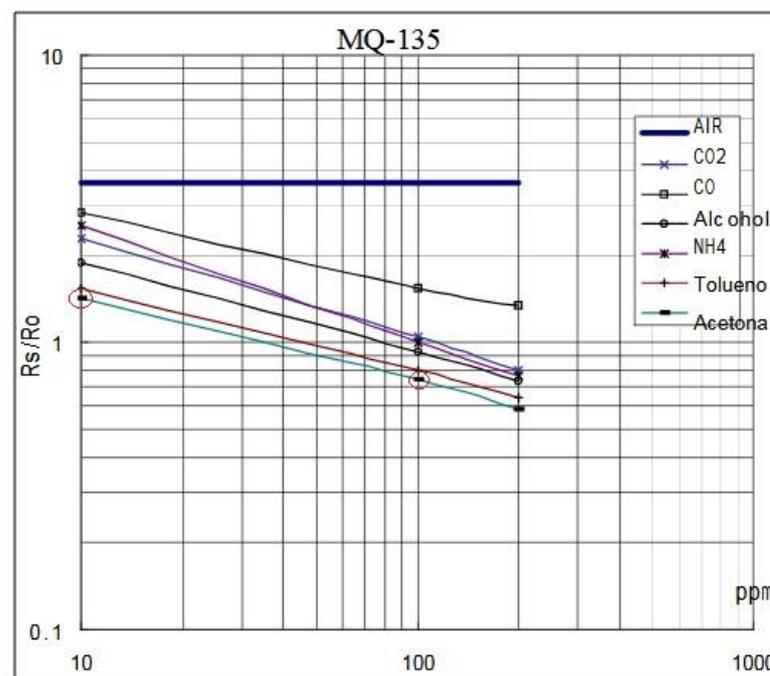
R_S = Resistansi Sensor (Ohm)

R_L = Resistansi Beban (Ohm)

Tegangan sumber ini akan terbagi oleh rangkaian sensor, dimana nilai tegangan sensor V_{RL} akan berbanding terbalik dengan jumlah konsentrasi gas yang terukur.

Salah satu sensor gas yang sering digunakan untuk mendeteksi gas beracun seperti amonia, sulfur dioksida, benzena, dan asap adalah sensor gas MQ-135.

Sensor ini merupakan tipe sensor MOS yang menggunakan lapisan metal oksida yang dipanaskan untuk mendeteksi keberadaan gas tertentu. Sensor ini menghasilkan tegangan yang dapat dibaca melalui devais mikrokontroler dan devais lainnya untuk menentukan jumlah konsentrasi gas. Konsentrasi gas biasanya disimbolkan dengan ρ (rho) dengan satuan ppm (part per million) atau ppb (part per billion). Karakteristik dan sensitivitas sensor gas MQ -135 ditunjukkan pada grafik berikut.



Gambar 3 Karakteristik dan sensitivitas sensor gas MQ-135

Keterangan:

R_s = resistansi sensor (Ohm)

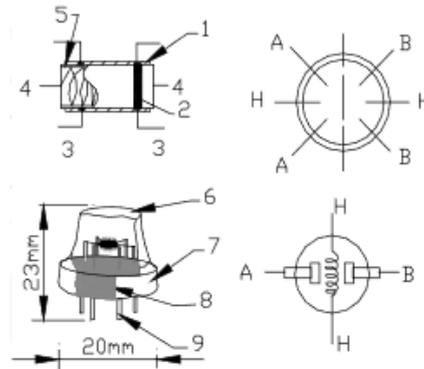
R_0 = resistansi sensor saat ppm=0 (Ohm)

R_s/R_0 = Respon sensor

ppm = Konsentrasi Gas (ppm)

Sebagai contoh, pada gambar 3 sensor MQ-135 merupakan jenis sensor kimia yang mampu mendeteksi beberapa jenis gas yang berbeda. Sensor ini sensitif terhadap senyawa NH_3 , benzene, alkohol, dan lain-lain. Sensor ini akan merespon

perubahan gas dengan merubah nilai resistensi. Sensor ini memiliki daya tahan yang baik dalam penggunaannya dan tidak menggunakan banyak daya (hemat energi).



Gambar 4 Konfigurasi sensor gas MQ-135

Keterangan:

- A* = Kaki elemen sensor
- B* = Kaki elemen sensor (lainnya)
- H* = Kaki sensor untuk heater
- 1 = Elemen sensor berbahan SnO_2
- 2 = Elektroda berbahan Au (Emas)
- 3 = Garis elektroda sensor
- 4 = Elemen Pemanas berbahan NiCr
- 5 = Logam selubung berbahan Al_2O_3
- 6 = Jaring penutup elemen sensor
- 7 = Cincin logam Ni (nikel)
- 8 = Pelat dasar
- 9 = Kaki-kaki sensor

Gambar 4 menunjukkan konfigurasi sensor MQ-135, dimana pada gambar tersebut bagian A dan B berada pada dua sisi yang berbeda. Dimana pada saat digunakan dalam pengukuran konsentrasi gas, titik A dan B akan mengalami perubahan nilai resistansi. Sedangkan, pada bagian H merupakan titik yang

terhubung pada elemen *Heater* sensor, yang berfungsi memanaskan elemen sensor ke kondisi kerjanya sebelum dapat digunakan.

Selain itu angka pada gambar 4 menunjukkan bagian-bagian dari sensor. Bagian 1 pada gambar 4 menunjukkan elemen sensor gas MQ-135 menggunakan bahan SnO₂ (Timah dioksida) yang berada di dalam inti sensor, yang merupakan bahan logam oksida (metal-oxide) yang biasa digunakan pada fabrikasi material semikonduktor. Bagian 2 menunjukkan elektroda di dalam elemen sensor menggunakan material Au (Emas). Bagian 3 menunjukkan garis elektroda di elemen sensor. Bagian 4 menunjukkan elemen pemanas di dalam inti sensor yang menggunakan material elektro-termal berbahan campuran Nikel-Krom (NiCr, *Nickel-chromium*, atau *nichrome*), bagian ini digunakan untuk memanaskan elemen sensor sebelum dapat digunakan. Seluruh bagian elemen sensor dibungkus oleh logam berbentuk tubular berbahan Aluminium oksida (Al₂O₃) yang ditunjukkan pada Bagian 5. Selain kuat, material Al₂O₃ juga mampu mengisolasi panas dan aliran listrik di dalam sensor agar tidak mempengaruhi rangkaian diluar sensor. Jaring stainless steel yang ditunjukkan pada bagian 6 juga digunakan untuk menutupi elemen sensor agar terlindung dari benturan namun masih tetap membolehkan mendeteksi gas disekitar sensor karena bentuknya yang menyerupai membolehkan sirkulasi udara. Bagian 7 menunjukkan cincin penahan, yang menahan seluruh bagian sensor MQ-135 yang terbuat dari bahan nikel. Bagian 8 menunjukkan pelat dasar berbahan resin, sebagai tempat diletakkannya elemen sensor. Bagian 9 menunjukkan pin berbahan nikel yang nantinya bagian ini akan terhubung pada rangkaian di luar sensor. Rangkuman bagian dan material dari sensor ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1 Material komponen penyusun sensor gas MQ-135

No.	Bagian	Material
1.	Elemen penginderaan gas	SnO ₂
2.	Elektroda	Au
3.	Garis Elektroda	Pt
4.	Koil Pemanas	Ni-Cr
5.	Keramik Tubular	Al ₂ O ₃
6.	Jaring pelindung elemen sensor	Kasa Stainless Steel (SUS316 100-mesh)
7.	Cincin penjepit	Pelat tembaga-nikel
8.	Dasar resin	Bakelite
9.	Pin	Pelat tembaga-nikel

Untuk mengevaluasi kinerja sensor gas semikonduktor, lima parameter digunakan: suhu operasi, sensitivitas, waktu pemulihan-pemulihan, selektivitas dan stabilitas. Respon gas (S) biasanya didefinisikan sebagai R_0/R_S , dimana R_0 adalah resistansi di udara dan R_S resistansi dalam gas target (Zhou, et al., 2018). Berdasarkan persamaan 2, resistansi dalam gas target R_S dapat diperoleh dengan persamaan berikut

$$V_{RL} \cdot (R_S + R_L) = V_{CC} \cdot R_L$$

$$(V_{RL} \cdot R_S) + (V_{RL} \cdot R_L) = V_{CC} \cdot R_L$$

$$(V_{RL} \cdot R_S) = (V_{CC} \cdot R_L) - (V_{RL} \cdot R_L)$$

$$R_S = \frac{(V_{CC} \cdot R_L) - (V_{RL} \cdot R_L)}{V_{RL}}$$

$$R_S = \left(\frac{V_{CC} \cdot R_L}{V_{RL}} \right) - R_L$$

Keterangan:

R_S = Resistansi sensor (Ohm)

R_L = Resistansi beban (Ohm)

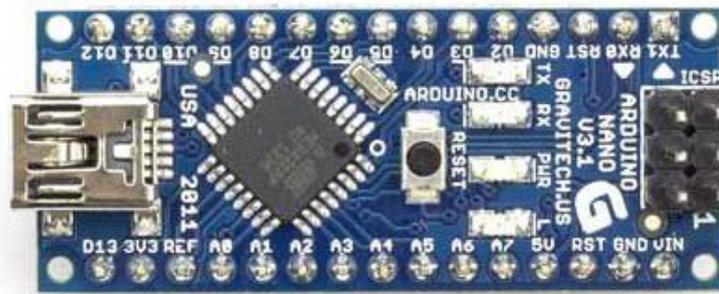
V_{CC} = Tegangan sumber (Volt)

V_{RL} = Tegangan pada R_L (Volt)

Dimana V_{CC} adalah tegangan sumber dan R_L adalah resistansi beban yang dirangkai pada sensor. Waktu respons biasanya didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan untuk variasi dalam konduktansi untuk mencapai 90% dari nilai kesetimbangan mulai dari paparan ke gas target, dan waktu pemulihan adalah waktu yang diperlukan untuk sensor untuk kembali ke 10% di atas konduktansi asli di udara setelah melepaskan gas uji.

2.1.3 Arduino Nano

Arduino merupakan modul mikrokontroler yang bersifat *open-source*. Arduino dirancang untuk memudahkan pengguna dalam berbagai aplikasi. Arduino dibekali dengan prosesor ATmega AVR. Arduino telah meluncurkan berbagai jenis modul, antara lain Arduino Uno, Arduino Duemilanove, Arduino Mega, Arduino Mini, Arduino Esplora, dan lain-lain.



Gambar 5 Arduino nano

Arduino Nano merupakan salah satu produk dari Arduino, ditunjukkan pada gambar 5. Modul ini merupakan modul mikrokontroler yang berbasis ATmega328. Arduino Uno memiliki 14 pin digital masukan/keluaran (6 pin diantaranya dapat digunakan sebagai pembangkit sinyal PWM), 6 masukan analog, osilator kristal 16 MHz, Koneksi USB, Catu daya, ICSP header, dan tombol reset. Berikut ini adalah rincian spesifikasi papan Arduino Uno (Machado, 2005).

Arduino nano dibekali dengan mikrokontroler ATmega 328, yang beroperasi pada tegangan 5V. Namun, masih dapat bekerja pada tegangan direntang 6V hingga 20V, namun sebaiknya digunakan pada tegangan di rentang 7V hingga 12V untuk

kinerja yang maksimal. Modul Arduino nano terdiri dari 14 pin, yang enam diantaranya adalah pin PWM. Arus yang dihasilkan oleh tiap pin I/O Arduino nano sebesar 40mA DC. Dengan keluaran arus DC pada pin 3.3V sebesar 50mA DC. Modul ini memiliki *flash memory* sebesar 32kB, dengan kecepatan baca di angka 16MHz. Lebih ringkasnya, spesifikasi Arduino nano dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini

Tabel 2 Spesifikasi Arduino nano

Bagian	Spesifikasi
Mikrokontroler	ATmega328
Tegangan Operasi	5V
Tegangan Masukan (disarankan)	7V-12V
Tegangan masukan (batas)	6V-20V
Digital i/o pin	14 (6 pin PWM)
Arus DC tiap i/o pin	40mA
Arus DC untuk 3.3V pin	50mA
Memori flash	32KB (ATmega328), 2KB digunakan untuk <i>bootloader</i>
SRAM	2KB (ATmega328)
EEPROM	1KB (ATmega328)
Kecepatan <i>clock</i>	16MHz

2.1.4 Analisa Regresi

Regresi adalah suatu persamaan untuk mengukur hubungan antara dua variabel atau lebih yang dinyatakan dalam bentuk hubungan/fungsi (Kurniawan, 2016). Pemisahan yang tegas diperlukan antara dua variabel bebas (independen) dengan variabel terikat (dependen), kedua variabel ini biasanya disimbolkan dengan huruf x dan y , sekaligus mewakili sumbu-sumbu yang digambarkan dalam grafik saat penyajiannya. Kedua variabel dalam persamaan regresi saling berpengaruh atau memiliki korelasi. Contoh penggunaan persamaan regresi adalah sebagai berikut:

1. Umur dengan berat badan balita

2. Biaya promosi dengan tingkat penjualan
3. Luas bidang daun dengan Panjang akarnya

Contoh-contoh tersebut adalah sebagian kecil dari penerapan persamaan regresi. Dalam bidang Teknik elektro, persamaan regresi biasanya digunakan untuk menentukan hubungan antara sinyal *output* sensor dengan besaran yang dideteksi oleh sensor. Oleh karena itu, dapat didefinisikan bahwa analisis regresi adalah sebuah metode statistik yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel terikat (*dependent*) dan satu atau lebih variabel bebas (*independent*). Metode ini digunakan untuk mengestimasi nilai dari variabel respon berdasarkan nilai dari variabel bebas. Tujuan dari analisa regresi adalah untuk menemukan garis kecocokan terbaik, yang juga disebut garis regresi atau garis tren (*trendline*). Ada beberapa tipe analisa regresi, termasuk regresi linear, regresi berganda, dan regresi non-linear.

2.1.4.1 Analisa regresi linear

Analisa regresi linear adalah metode statistik yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel respon dengan variabel bebas dengan mencocokkan persamaan linear dengan data hasil pengamatan. Analisa regresi linear terbagi menjadi dua, yaitu analisa regresi linear sederhana dan analisa regresi linear berganda (Sykes, 1993). Bentuk umum dari persamaan regresi linear adalah sebagai berikut:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + e$$

Keterangan:

a = koefisien *intercept* (titik potong Y)

b = koefisien slope

X = variabel independent

Y = variabel dependen

$n = 1, 2, 3, \dots$

e = error

Koefisien dalam persamaan tersebut menunjukkan nilai Y untuk setiap perubahan nilai X .

Dalam regresi linear, tujuannya adalah untuk menemukan persamaan regresi terbaik dengan selisih seminimal mungkin antara data hasil observasi dengan garis regresi. Salah satu metode untuk menentukan tingkat kecocokan persamaan regresi adalah dengan metode kuadrat terkecil. Metode ini menghasilkan garis yang meminimalisir jumlah total nilai kuadrat selisih antara data nilai hasil persamaan regresi dengan data nilai hasil observasi (Zou et al., 2003).

Analisa regresi linear dapat digunakan pada regresi linear sederhana (dengan satu variabel bebas) dan regresi linear berganda (dengan 2 atau lebih variabel bebas). Berikut merupakan persamaan regresi linear sederhana yang menggambarkan hubungan antara dua variabel (satu variabel respon dan satu variabel bebas) yang merupakan data kuantitatif. Bentuk umum persamaan ini dituliskan sebagai berikut:

$$Y = a + bX$$

Keterangan:

a = koefisien *intercept* (titik potong Y)

b = koefisien slope

X = variabel independent

Y = variabel dependen

Sedangkan, Regresi linear berganda adalah regresi yang mendeskripsikan hubungan suatu variabel Y terhadap dua atau lebih variabel X yang seluruhnya merupakan data kuantitatif. Bentuk umum persamaan regresi linear berganda dituliskan sebagai berikut:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + e$$

Keterangan:

a = koefisien *intercept* (titik potong Y)

b = koefisien slope

X = variabel independent

Y = variabel dependen

e = error

Analisa regresi linear banyak diaplikasikan ke dalam berbagai bidang seperti, keuangan, ekonomi, teknik.

2.1.4.2 Analisa regresi non-linear

Analisa regresi non-linear adalah salah satu tipe analisa regresi yang hubungan antara variabel respon dan variabel bebasnya dimodelkan ke dalam persamaan non-linear. Berbeda dengan regresi linear, dimana hubungan antara variabel-variabel ditampilkan dalam bentuk garis lurus. Regresi non-linear menampilkan hubungan antara variabel-variabel dalam bentuk kurva (Kenton, 2022).

Pemodelan regresi non-linear lebih fleksibel dibandingkan dengan regresi linear. Dimana regresi non-linear memiliki rentang jangkauan pola data yang lebih luas, seperti persamaan kuadrat, kubik, eksponensial, logaritma, dan format fungsi lainnya (Frost, 2018).

Salah satu cara untuk menggunakan regresi non-linear adalah dengan melakukan transformasi pada variabel bebas atau variabel respon, sehingga data-data tersebut menampilkan parameter hubungan yang linear. Cara lainnya adalah dengan menentukan sebuah parameter fungsi non-linear dan menggunakan metode optimasi seperti penurunan gradien atau metode Newton-Raphson untuk mengestimasi parameter terbaik dalam fungsi persamaan regresi non-linear (Amemiya, 1983).

Kekurangan dari regresi non-linear adalah hasil keluaran dari pemodelan akan bergantung pada parameter awal dari persamaan, yang dapat menimbulkan kesulitan dalam menemukan solusi global yang optimal. Ditambah lagi, akan sulit untuk menafsirkan hasil, dan sulit untuk membuat prediksi diluar data observasi.

Regresi non-linear digunakan dalam bidang penelitian yang luas, seperti biologi, kimia, fisika, dan teknik, untuk memodelkan fenomena yang kompleks dan untuk membuat prediksi berdasarkan data.

Regresi non-linear bertujuan untuk menunjukkan hubungan yang tidak linear antara dua variabel X dan Y. ketidak linearan dapat ditunjukkan dengan pola grafik

yang dihasilkan dari dua variabel yang berbentuk kurva lengkung, parabolik, atau gelombang. Beberapa tipe persamaan regresi non-linear yang umum digunakan adalah persamaan fungsi non-linear termasuk persamaan polinomial, persamaan eksponensial, persamaan logaritama, dan persamaan trigonometri. Pemilihan persamaan bergantung pada data yang diobservasi dan model hubungannya (Amemiya, 1983).

Berikut adalah contoh persamaan umum untuk beberapa jenis regresi non-linear adalah sebagai berikut

1. Regresi eksponensial

$$Y = ae^{bX}$$

2. Regresi berpangkat

$$Y = aX^b$$

3. Regresi polinomial

$$Y = a_0 + a_1X^1 + a_2X^2 + \dots + a_nX^n$$

Keterangan:

a = koefisien *intercept* (titik potong Y)

b = koefisien slope

X = variabel independent

Y = variabel dependen

$n = 0, 1, 2, 3, \dots$

Terdapat berbagai macam software dan library yang tersedia yang dapat digunakan untuk menjalankan analisa regresi non-linear. Software komersil yang umum digunakan yaitu Matlab, SAS, and Minitab, dan ada juga open-source seperti R, Python, dan SciPy.

Menjadi catatan penting bahwa hasil dari regresi non-linear lebih sensitif terhadap nilai awal dibandingkan dengan regresi linear. Dan lebih sulit untuk menafsirkan keluaran dan lebih sulit untuk membuat prediksi nilai diluar data observasi.

2.2 Penelitian Terkait

Penelitian ini bukan merupakan topik baru yang mengangkat hal yang tidak pernah ada sebelumnya. Penelitian ini merupakan perekaciptaan dan inovasi dari beberapa penelitian sebelumnya. Sehingga diharapkan mampu memberikan hasil yang optimal dari yang telah ada sebelumnya.

Tabel 3 *State of the arts*

Penulis, Judul	Jurnal, Tahun	Masalah	Solusi	Elemen pengukuran
Roberto F. Machado, <i>Detection of Lung Cancer by Sensor Array Analysis of Exhaled Breath</i>	American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine Vol.171, 2005	Belum diketahui perbedaan kandungan gas pada individual sehat dengan penderita kanker paru-paru	Menggunakan sensor gas untuk mengetahui perbedaan kandungan gas pada individual sehat dengan penderita penyakit kanker paru-paru	Menggunakan 32 sensor komposit polimer
Ulrike Tisch, <i>Detection of Alzheimer's and Parkinson's disease from exhaled breath using nanomaterial-based sensors</i>	Nanomedicine Vol.8, 2013	Perlu dilakukan tes kelayakan untuk mengidentifikasi penyakit Alzheimer (AD) dan penyakit Parkinson (PD) dengan menggunakan sensor berbasis nanomaterial	Menyajikan tes kelayakan untuk metode diagnostik baru yang dapat mengidentifikasi penyakit Alzheimer (AD) dan penyakit Parkinson (PD), dengan menggunakan sensor berbasis nanomaterial	Menggunakan 20 sensor nanomaterial organik

Penulis, Judul	Jurnal, Tahun	Masalah	Solusi	Elemen pengukuran
Sneha Mardikar, <i>Detection of Amonia in Exhaled Human Breath</i>	IOSR Journal of Electronics and Communicati on Engineering, 2015	Diagnosa penyakit yang melalui cek darah memerlukan waktu yang cukup lama	Mengukur kandungan amoniak pada gas hasil pernapasan untuk mengetahui penyakit suatu individu	Menggunak an 4 sensor gas MOS
Tarik Saidi, <i>Detection of Seasonal Allergic Rhinitis from Exhaled Breath VOCs Using an Electronic Nose Based on an Array of Chemical Sensors</i>	IEEE Sensors, 2015	Diagnosa penyakit alergi musiman pada individu	Menggunakan sensor MQ- series untuk mengetahui karakteristik gas pada individu untuk mengetahui penderita alergi musiman dan perbedaan antara perokok dan non-perokok	Menggunak an 6 sensor gas MOS (MQ-series)
Zhang, D., <i>A Breath Analysis System for Diabetes Screening and Blood Glucose Level Prediction</i>	Breath Analysis for Medical Applications, 2017	Pengukuran kadar gula dalam darah dan deteksi penyakit diabetes	Membuat sistem analisis napas yang mampu melakukan pengukuran pengukuran kadar gula dalam darah sekaligus mendeteksi penyakit diabetes	Menggunak an kombinasi 6 sensor gas MOS, 3 sensor suhu MOS, sebuah sensor karbon dioksida, dan sebuah

Penulis, Judul	Jurnal, Tahun	Masalah	Solusi	Elemen pengukuran
				sensor suhu dan kelembaban
Ümit Özsandıkçıoğlu, <i>Hybrid Sensor Based E-Nose For Lung Cancer Diagnosis</i>	IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA), 2018	Diagnosa penyakit kanker paru- paru	Membuat sistem analisis napas untuk mendeteksi penyakit kanker paru- paru	Menggunakan 8 sensor gas MOS, dan 14 sensor <i>Quartz Crystal Microbalance</i>
T. I. Nasution, <i>Application of MQ-138 Semiconductor Sensor for Breath Acetone Detection</i>	SEMIRATA- International Conference on Science and Technology, 2018	Pengukuran kadar gula darah	Menggunakan sensor gas MQ-138 untuk mengukur kadar aseton pada gas buang hasil pernapasan	Menggunakan sebuah sensor gas MOS, yaitu MQ-138
Imam Tazi, <i>Design and Testing of Electronic Nose for Determining the Pattern of Bad Breath Classification in Patients with Diabetes Mellitus and Pulmonary Tuberculosis (TBC)</i>	AIP Conference Proceedings, 2019	Identifikasi penyakit diabetes mellitus dan TBC	Menggunakan 10 sensor gas MQ-series untuk mengidentifikasi nasi napas individu berdasarkan kadar <i>Volatile Organic Compound (VOC)</i>	10 sensor gas MOS (MQ-series)

Penulis, Judul	Jurnal, Tahun	Masalah	Solusi	Elemen pengukuran
<i>Jakub Soroki, A Prototype of a Portable Gas Analyzer for Exhaled Acetone Detection</i>	MDPI Applied Science, 2019	Identifikasi penyakit diabetes	Mengukur parameter gas aseton dalam napas dengan 4 sensor MOS	4 sensor gas berbasis MOS
<i>Sofiene Mansouri, Non-invasive Measurement of Blood Glucose by Breath Analysis</i>	IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 2020	Mengukur kadar gula dalam darah	Mendeteksi kandungan VOC dalam napas dengan menggunakan sensor gas	3 tipe sensor gas tipe MQ berbasis MOS

Pada tabel 3 tersebut menunjukkan bahwa sistem analisis napas menggunakan sensor gas memerlukan sensor dalam jumlah banyak, terutama yang ditujukan untuk pendeteksi penyakit. Karena memerlukan sensor dengan kemampuan yang berbeda-beda, tergantung jenis penyakit yang dideteksinya. Namun, adapula sistem yang hanya menggunakan sebuah sensor untuk mendeteksi satu jenis gas pada napas manusia. Namun, dipenelitian sebelumnya tidak digunakan sensor suhu dan kelembaban sebagai bagian dari parameter pengukuran napas. Padahal napas yang diukur cenderung dalam keadaan lembab dan hangat, dan kondisi ini dapat mempengaruhi nilai dari proses penginderaan sensor.

Beberapa sensor gas berbasis MOS dapat merespon berbagai jenis gas yang berbeda. Jika dilakukan peninjauan lebih lanjut, maka suatu sensor gas berbasis MOS dapat digunakan untuk mendeteksi beberapa jenis gas sekaligus pada napas manusia. Oleh karena itu, pada penelitian ini lebih ditekankan pada pengoptimalan suatu sensor gas MOS dengan menggunakan analisa regresi gabungan pada faktor koreksi sensor. Sehingga mampu mendeteksi beberapa jenis gas pada napas

manusia, yang selanjutnya dapat diciptakan suatu sistem analisis napas dengan biaya yang rendah.

2.3 Kerangka Pikir

Kerangka pikir dalam penelitian ini memuat langkah-langkah dalam menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini.



Gambar 6 Kerangka pikir penelitian

Gambar 6 menampilkan kerangka pikir pada penelitian ini. Terdiri dari masalah pada optimasi kinerja sensor, dimana pada penelitian sebelumnya pengukuran napas tidak mempertimbangkan suhu dan kelembaban dalam pengukurannya. Kemudian solusi yang ditawarkan pada penelitian ini yaitu, mendesain persamaan untuk mengestimasi nilai konsentrasi gas dengan mempertimbangkan pengaruh suhu dan kelembaban dalam pengukuran konsentrasi gas dalam napas. Data yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer berasal dari pengujian alat secara langsung, dan data sekunder berasal dari literatur yang ada. Kemudian hasil dari penelitian ini meningkatkan kemampuan pembacaan sensor dengan menerapkan faktor koreksi yang mempertimbangkan suhu dan kelembaban dalam proses pengukuran kadar gas VOC dalam napas.