TUGAS AKHIR – SF 184801

PENGEMBANGAN SENSOR GAS KARBON MONOKSIDA (CO) BERBASIS *INTERDIGITAL ELECTRODE* (IDE) DAN *NANOFIBER* PVA/TiO_2

Bagus Hermawan
NRP 01111640000067

Dosen Pembimbing :
Iim Fatimah, M.Si
Diky Anggoro, M.Si

DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

TUGAS AKHIR – SF 184801

PENGEMBANGAN SENSOR GAS KARBON MONOKSIDA (CO) BERBASIS *INTERDIGITAL ELECTRODE* (IDE) DAN *NANOFIBER* PVA/TiO_2

Bagus Hermawan
NRP 01111640000067

Dosen Pembimbing :
Iim Fatimah, M.Si
Diky Anggoro, M.Si

DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

FINAL PROJECT – SF 184801

DEVELOPMENT OF CARBON MONOXIDE (CO) GAS SENSOR BASED ON INTERDIGITAL ELECTRODE (IDE) AND PVA/TiO_2 NANOFIBER

Bagus Hermawan
NRP 01111540000076

Advisor :
Iim Fatimah, M.Si
Diky Anggoro, M.Si

DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE AND DATA ANALITYCS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Pengembangan Sensor Gas Karbon Monoksida (CO) Berbasis *Interdigital Electrode* (IDE) dan *Nanofiber* PVA/TiO_2

TUGAS AKHIR

Disusun untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Sains
pada
Bidang Studi Fisika Instrumentasi Elektronika
Program Studi S1 Departemen Fisika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh
Bagus Hermawan
01111640000067

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Iim Fatimah, M.Si ( )
NIP.19870108 201504 2 002

Diky Anggoro, M.Si ( )
NIP.19850809 201404 1 003

Surabaya, Juli 2020

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
DEPARTEMEN FISIKA

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Pengembangan Sensor Gas Karbon Monoksida (CO) Berbasis *Interdigital Electrode* (IDE) dan *Nanofiber* PVA/TiO_2

Nama Mahasiswa : Bagus Hermawan
NRP : 0111164000067
Departemen : Fisika FSAD-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Iim Fatimah, M.Si
2. Diky Anggoro, M.Si

ABSTRAK

Tugas Akhir telah dilakukan dengan tujuan untuk merancang sensor gas karbon monoksida (CO) berbasis *interdigital electrode* (IDE) dan *nanofiber* PVA/TiO_2, mengetahui respons sensor IDE tanpa *nanofiber* PVA/TiO_2 terhadap gas CO serta mengetahui sensitivitas sensor berbasis IDE dan *nanofiber* PVA/TiO_2 terhadap gas CO. Prinsip yang digunakan yaitu *chemiresistor*, jika terdapat interaksi antara gas CO dengan *nanofiber* PVA/TiO_2 menghasilkan perubahan resistansi pada sensor. Pembuatan *nanofiber* PVA/TiO_2 dengan menggunakan metode *electrospinning*. Pada penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi TiO_2 yaitu 0,1% w/v; 0,2% w/v; 0,3% w/v; 0,4% w/v; dan 0,5% w/v. Sensor IDE dan *nanofiber* PVA/TiO_2 telah menunjukkan prinsip *chemiresistor* karena dengan bertambahnya kadar gas CO maka resistansi menjadi menurun. Sensor IDE tanpa *nanofiber* PVA/TiO_2 tidak dapat merespons gas CO. Sensitivitas sensor pada kadar gas CO 130 ppm yaitu Sampel A sebesar 5,08; Sampel B sebesar 3,12; Sampel C sebesar 3,75; Sampel D sebesar 3,24; dan Sampel E sebesar 3,53.

Kata Kunci* : *Chemiresistor, Interdigital Elelctrode, PVA, Sensitivitas, TiO_2

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Development of Carbon Monoxide (CO) Gas Sensor based on Interdigital Electrode (IDE) and PVA/TiO_2 Nanofiber

Name : Bagus Hermawan
NRP : 01111640000067
Department : Physics, Faculty of Science and Data Analytics
Advisors : 1. Iim Fatimah, M.Si
2. Diky Anggoro, M.Si

ABSTRACT

This Final Project research has been carried out to design a carbon monoxide (CO) gas sensor based on an interdigital electrode (IDE) and PVA/TiO_2 nanofibers, to find out the IDE sensor response to CO without PVA/TiO_2, and find the sensitivity of the sensor to CO when using PVA/TiO_2. The main principle used is chemiresistance : if there is an interaction between CO and PVA/TiO_2, the gas will decrease resistance in the sensor. Preparation of PVA/TiO_2 nanofibers are done through the method of electrospinning. This study used variations in the concentration of TiO_2, namely 0,1% w/v; 0,2% w/v; 0,3% w/v; 0,4% w/v; and 0,5% w/v. The IDE sensors showed chemiresistance, because with increasing CO levels the resistance decreases. IDE sensors without PVA/TiO_2 nanofibers cannot respond to CO. The sensitivity of the sensor variations using CO levels of 130 ppm are : Sample A was 5,08; Sample B was 3,12; Sample C was 3.75; Sample D was 3,24; and Sample E was 3,53.

Keywords : Chemiresistance, Interdigital Electrode, PVA, Sensitivity, TiO_2

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيْمِ

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat-Nya , petunjuk-Nya atas nikmat iman, islam, dan ikhsan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul "**Pengembangan Sensor Gas Karbon Monoksida (CO) Berbasis *Interdigital Electrode* (IDE) dan *Nanofiber* PVA/TiO_2**" dengan optimal dan tepat waktu. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas bantuan, dorongan, dan juga bimbingan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan baik. Sehubungan dengan hal tersebut, maka penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Diky Anggoro, M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membagi pengalaman serta memberikan pengarahan selama proses penelitian dan penyusunan laporan.
2. Iim Fatimah, M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang selalu membimbing serta memberikan pengarahan selama proses penelitian dan penyusunan laporan.
3. Bapak dan Ibu, dan segenap keluarga yang telah memberikan semua hal terbaik bagi penulis sejak kecil hingga saat ini.
4. Teman seperjuangan Tugas Akhir yaitu Alifiah Rosyida Al-Ummah, Nisrina K, dan Hairunnisa yang telah berjuang bersama-sama dalam pengerjaan Tugas Akhir ini selama beberapa bulan ini.
5. Penghuni Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi khususnya Mas Rifki Hidayat, Ryan, Mas Imam Mukhlas, Mbak Ira, Mas Anas, dan Mas Adam yang telah membantu dan memberikan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

6. Member Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi dan teman yang telah memberi dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman kontrakan fisika barokah Niko, Sakti, Edo, dan Barok yang telah menemani dan tinggal bersama penulis dalam tiga tahun terakhir.
8. Teman – teman fisika Angkatan 2016 semuanya terlebih untuk teman yang ikut menyemangati selama pengerjaan pada kondisi pandemi Covid-19 yaitu Eden dan Fakhri.
9. Teman terdekat yang selalu tidak ada hentinya menyemangati untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir, Irma Nur Karimah.
10. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari akan adanya kekurangan dalam penulisan laporan ini karena keterbatasan wawasan dan pengetahuan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar lebih baik di masa yang akan datang. Semoga laporan penelitian Tugas Akhir ini dapat berguna dan dimanfaatkan dengan baik sebagai referensi bagi yang membutuhkan serta menjadi sarana pengembangan kemampuan ilmiah bagi semua pihak yang bergerak dalam bidang Fisika Instrumentasi dan Elektronika. Aamiin Ya Rabbal Alamiin.

Surabaya, 28 Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
TITLE PAGE iii
LEMBAR PENGESAHAN v
ABSTRAK vii
ABSTRACT ix
KATA PENGANTAR xi
DAFTAR ISI xiii
DAFTAR GAMBAR xvii
DAFTAR TABEL xix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan 3
1.4 Manfaat 3
1.5 Batasan Masalah 3
1.6 Sistematika Penulisan 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Electrospinning 5
2.2 Polyvinyl Alcohol (PVA) 8
2.3 Titanium Dioxide (TiO_2) 8
2.4 Material Komposit PVA/TiO_2 9
2.5 Karbon Monoksida (CO) 10
2.6 Sensor 11
2.7 Penelitian Sebelumnya 13

BAB III METODOLOGI 15
3.1 Diagram Alir Penelitian 15
3.2 Alat dan Bahan 16
3.2.1 Alat 16
3.2.2 Bahan 17
3.3 Langkah Kerja 18
3.3.1 Pembuatan Larutan Komposit PVA/TiO_2 18
3.3.2 Fabrikasi *Nanofiber* sebagai *Sensing Material* 20
3.3.3 Perancangan Sensor IDE 21
3.3.4 Pengujian Sensor MQ-9 23
3.3.5 Pengujian Sensor IDE 24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 27
4.1 Analisa *Nanofiber* PVA/TiO_2 27
4.2 Kalibrasi Nilai *Ratio* Sensor MQ-9 30
4.3 Presisi Kadar Gas CO Sensor MQ-9 32
4.4 Analisis Sensor IDE 34
4.5 Pengujian Sensor IDE Tanpa Gas CO 35
4.6 Pengujian Sensor IDE terhadap gas CO 37
4.7 Analisa Sensitivitas Sensor 38
4.8 Analisa Fenomena Elektrokimia Sensor 41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 43
5.1 Kesimpulan 43
5.2 Saran 43
DAFTAR PUSTAKA 45
LAMPIRAN I 49
LAMPIRAN II 53

BIODATA PENULIS..... 55

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema alat *electrospinning* 6
Gambar 2.2 Gaya – gaya pada metode *electrospinning* 7
Gambar 2.3 Konduktivitas nanokomposit PVA/TiO_2 10
Gambar 2.4 Skema *Interdigital Electrode*.....12

Gambar 3.1 Diagram alir penelitian 15
Gambar 3.2 Diagram alir pembuatan larutan komposit.....19
Gambar 3.3 Skema rancangan sensor gas 21
Gambar 3.4 Skema alat pengujian sensor.....22
Gambar 3.5 Hubungan *ratio* dan kadar gas pada sensor MQ-9 .23

Gambar 4.1 (a). Hasil SEM untuk sampel A, (b). Hasil SEM untuk sampel B 27
Gambar 4. 2 Distribusi *nanofiber* PVA/TiO_2 sampel A 28
Gambar 4.3 Grafik hubungan konsentrasi TiO_2 dengan diameter *nanofiber*.....29
Gambar 4.4 Grafik kalibrasi nilai *ratio* sensor MQ-9 30
Gambar 4.5 Grafik resistansi awal sampel O tanpa gas CO.....34
Gambar 4.6 Grafik resistansi sensor terhadap gas CO 35
Gambar 4.7 Grafik resistansi sensor IDE tanpa gas CO.....37
Gambar 4.8 Grafik resistansi sensor terhadap gas CO 38
Gambar 4.9 Grafik resistansi sampel B terhadap gas CO 38
Gambar 4.10 Grafik sensitivitas sensor hingga kadar gas CO 130 ppm.....39
Gambar 4.11 Grafik sensitivitas pada kadar gas CO 130 ppm....40

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Klasifikasi sampel berdasarkan konsentrasi TiO_2 29
Tabel 4.2 Data *error* dan keakuratan pengukuran *ratio* MQ-9 ...31
Tabel 4.3 Tabel perhitungan presisi 32
Tabel 4.4 Tabel beberapa data hasil pembacaan sampel A 36

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, para peneliti sedang mengembangkan teknologi terbaru dalam menghadapi persaingan antar negara. Teknologi terbaru yang sedang dikembangkan oleh para peneliti yaitu nanoteknologi. Penelitian mengenai nanoteknologi akan menjadi alternatif untuk diaplikasikan ke berbagai macam bidang seperti pertanian, elektronik, dan kesehatan. *Electrospinning* merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk membuat serat material dalam ukuran nano. Metode tersebut sangat efektif dan efisien untuk digunakan dalam pengembangan nanoteknologi. *Electrospinning* adalah metode yang memanfaatkan gaya elektrostatik dari tegangan listrik tinggi untuk menarik larutan sehingga menjadi serat dalam ukuran nano. Dalam hal ini, material polivinil alkohol adalah salah satu material polimer yang sering digunakan pada metode *electrospinning* (Sasipriya et al., 2013).

Polusi udara adalah suatu kondisi kualitas udara menjadi rusak dan terkontaminasi oleh berbagai macam jenis zat, baik yang tidak berbahaya ataupun berbahaya. *Mosquito coil* merupakan salah yang dapat menghasilkan zat berbahaya dalam bentuk gas. Gas yang dihasilkan oleh *mosquito coil* diantaranya meliputi karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NO_x), sulfur dioksida (SO_x), dan partikulat (PM10). Karbon monoksida (CO) dapat mengganggu kesehatan manusia bahkan dapat membunuh manusia jika masuk ke darah kemudian mengikat hemoglobin menjadi COHb. Akibatnya, pengangkutan oksigen dari paru – paru ke jaringan menjadi terganggu dan mengakibatkan hipoksia karena jaringan tubuh tidak mendapatkan oksigen untuk oksidasi. Karbon monoksida (CO) juga memiliki ciri – ciri yaitu tidak bewarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Dengan dampak dan ciri – ciri tersebut maka karbon monoksida sering dijuluki sebagai *silent killer* (Jason, et al., 2017).

Pengaplikasian *nanofiber* sebagai sensor gas sudah dilakukan dengan menggunakan metode *electrospinning.* Menurut El Fawal, polivinil alkohol (PVA), pluronik, dan TiO_2 yang dicampur menjadi larutan memiliki hasil sudah efektif untuk digunakan sebagai sensor gas LPG (El Fawal et al., 2019). Sedangkan penelitian lain tentang pembentukan *nanofiber* PVA/TiO_2 juga telah berhasil terbentuk menggunakan metode *electrospinning* (Yudoyono, et al., 2019). TiO_2 memiliki sifat penginderaan gas yang baik sehingga sering digunakan sebagai bahan utama pembuatan sensor gas. Selain yang sudah disebutkan masih ada penelitian tentang pemanfaatan TiO_2 seperti penggunaan sebagai sensor gas LPG dan sebagai sensor gas CO_2 (Yadav, 2011).

Berdasarkan uraian diatas, diperlukan pengaplikasian teknologi untuk mendeteksi gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO). Demi ikut serta dalam pengembangan nanoteknologi maka akan dilakukan penelitian mengenai pembentukan *nanofiber* untuk dapat digunakan sebagai sensor gas karbon monoksida (CO). *Nanofiber* dengan berbahan dasar PVA dan TiO_2 dibentuk dengan menggunakan metode *electrospinning.* Oleh karena itu, penulis dalam penelitian Tugas Akhir akan melakukan Pengembangan sensor gas karbon monoksida berbasis *interdigital electrode* dan *nanofiber* PVA/TiO_2.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dibahas sebelumnya, penulis melakukan beberapa analisa kinerja dengan permasalahan yang ditemukan sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang sensor gas CO berbasis *interdigital electrode* dan *nanofiber* PVA/TiO_2?
2. Bagaimana respons sensor berbasis *interdigital electrode* tanpa *nanofiber* TiO2 terhadap gas CO?
3. Bagaimanakah sensitivitas sensor terhadap gas CO?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk memperoleh:

1. Merancang sensor gas CO berbasis *interdigital electrode* dan nanofiber PVA/TiO_2.
2. Analisa respons sensor berbasis *interdigital electrode* tanpa *nanofiber* PVA/TiO_2.
3. Sensitivitas sensor gas berbasis *interdigital electrode* dan *nanofiber* PVA/TiO_2 terhadap gas CO.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Keterbaruan penelitan pemanfaatan *nanofiber* PVA/TiO_2 sebagai sensor gas CO.
2. Dapat mengetahui sensitivitas sensor terhadap gas CO.
3. Sebagai alternatif untuk meningkatkan masa kerja sensor karena menggunakan material yang dapat bertahan lama serta memiliki sensitivitas tinggi.

1.5 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Menggunakan material PVA dan TiO_2.
2. *Electrospinning* yang digunakan sebagai pembuat material *nanofiber* PVA/TiO_2.
3. Menggunakan gas yang diuji yaitu gas karbon monoksida (CO).
4. Menggunakan sensor MQ-9.
5. Skema sensor *Interdigital Electrode* yang digunakan.
6. Penelitian ini tidak membahas lebih lanjut terkait reaksi dari gas CO dengan material *nanofiber* PVA/TiO_2.

7. Penelitian ini hanya dilakukan pada tahap pengukuran sensitivitas *nanofiber* PVA/TiO_2 terhadap gas CO.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I : Pendahuluan

Bab Pendahuluan ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Bab tinjauan pustaka berisi tentang teori dan konsep dasar penunjang penelitian mengenai teknologi *Nanofiber* PVA/TiO_2.

BAB III : Metodologi

Bab Metodologi berisi tentang metode yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB IV : Analisa dan Pembahasan

Bab Pembahasan ini berisi inti dari penulisan laporan tugas akhir tentang hasil aplikasi *Nanofiber* PVA/TiO_2 sebagai material sensor gas CO.

BAB VI : Penutup

Bab Penutup ini berisi kesimpulan umum dari hasil analisa dan disertai saran yang berlaku bagi penelitian selanjutnya.

LAMPIRAN :

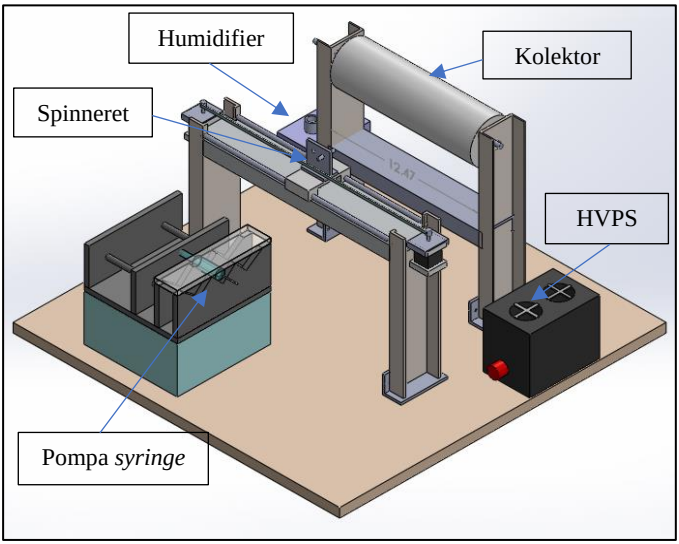
Lampiran berisi beberapa gambar penunjang penelitian.

.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Electrospinning

Pada tahun 1934, Formhals telah mengusulkan untuk pertama kali konsep *electrospinning* dan mendapatkan patennya. Konsep *electrospinning* tersebut menjelaskan penarikan polimer menjadi filamen halus dengan menggunakan muatan listrik. Hingga tahun 1990-an, penelitian mengenai *nanoscience* dan nanoteknologi meningkatkan minat para peneliti untuk mengembangkan pembuatan serat hasil *electrospinning* dari berbagai polimer (El-Aassar et al., 2013). *Electrospinning* merupaka metode yang sederhana dan efektif untuk menghasilkan serat polimer atau serat komposit dengan rentang diameternya mulai dari micrometer hingga nanometer (Hassan et al., 2017). Metode *electrospinning* menghasilkan partikel 1 dimensi berukuran nano dengan menggunakan sumber tegangan tinggi. Sumber tegangan tinggi yang bisa dilakukan dalam penggunaan *electrospinning* antara 7 kV hingga 32 kV. Sumber tegangan tinggi terdiri dari elektroda positif yang dihubungkan pada ujung jarum sehingga larutan bermuatan positif dan elektroda negatif yang dihubungkan pada plat kolektor sebagai tempat terkumpulnya *fiber*. *Nanofiber* yang dihasilkan dari proses *electrospinning* mempunyai banyak kelebihan yaitu mempunyai porositas yang tinggi dan luas permukaan per satuan volume yang lebih besar. Ada beberapa parameter yang harus disiapkan untuk mengontrol ukuran diameter *nanofiber* pada proses *electrospinning*. Parameter yang dapat dikontrol antara lain kelembaban lingkungan pemintalan, viskositas larutan yang digunakan, tegangan permukaan, sumber tegangan tinggi, besar kecilnya *droplet* yang dikeluarkan dari jarum, konduktivitas larutan, dan jarak antara ujung jarum penyemprot larutan ke kolektor (Patil et al., 2017). Berikut dapat dilihat skema alat *electrospinning* pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Skema alat *electrospinning*

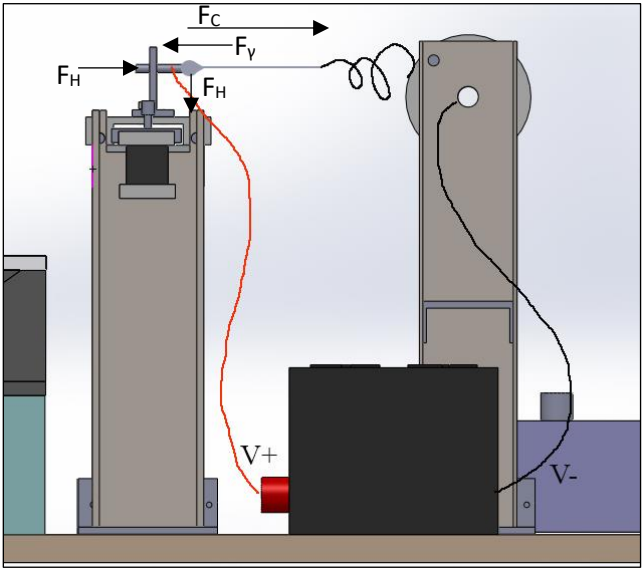
Electrospinning didasarkan pada efek elektrostatik pada cairan atau larutan yang memiliki viskositas tinggi. Dengan metode *electrospinning*, tetesan *hemispherical* dari larutan polimer pada ujung jarum suntik akan diberi muatan listrik bertegangan tinggi. Muatan listrik akan menumpuk di permukaan tetesan dan cenderung memanjangkan tetesan menjadi bentuk kerucut. Tegangan permukaan pada tetesan akan mengurangi luas permukaan dengan menjaganya ke dalam bentuk bola. Dengan meningkatnya tegangan tinggi yang diberikan, maka inisiasi jet polimer akan terjadi setelah gaya elektrostatik lebih besar dari tegangan permukaan larutan polimer (Reneker et al., 2000). Jet polimer akan dikeluarkan dari ujung *taylor cone* dan bergerak menuju kolektor. Kemudian jet polimer akan menjadi tidak stabil dan mengalami gerakan menekuk atau mencambuk dibawah tolakan *coulumb*. Dengan adanya kolektor, maka jet polimer akan menempel di permukaan kolektor. Karena terjadi penguapan pelarut dari filamen, maka jet polimer yang menempel pada

kolektor akan menjadi *nanofiber* yang mengering(Subbiah et al., 2005).

Pada proses *electrospinning* larutan yang digunakan harus diencerkan dan dimasukkan ke dalam tabung *spinneret* atau tabung injeksi untuk diberikan tegangan agar larutan menuju ke *nozzle* atau ujung jarum. Pada keadaan ini, proses *electrospinning* terdapat beberapa gaya yang terjadi yaitu gaya tekanan pada larutan polimer, gaya *Coulumb*, dan gaya hidrodinamik.

$$Fc - F\gamma + Fh = 0 \qquad (2.1)$$

Dengan Fc adalah gaya *Coulumb* yang terjadi karena adanya dua muatan positif dan negatif, Fγ adalah gaya tegangan permukaan yang timbul karena adanya muatan listrik pada polimer, Fh adalah gaya hidrodinamik karena adanya tekanan pada tabung polimer. Ilustrasi dari penjelasan diatas dapat di lihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Gaya – gaya pada metode *electrospinning*.

Ketika tegangan tinggi diaplikasikan pada ujung jarum, maka medan listrik akan mempengaruhi tegangan permukaan larutan. Karena pengaruh muatan listrik pada ujung jarum terdapat larutan, larutan tertarik menuju kolektor (Feng, 2002).

2.2 Polyvinyl Alcohol (PVA)

Polyvinyl alcohol (PVA) merupakan salah satu hidrogel polimer sintetik yang memiliki kekuatan dielektrik tinggi, sifat optik, dan kapasitas penyimpanan muatan yang baik. PVA meunjukkan kelompok sisi polar yang fleksibel dengan ikatan polar yang memiliki transisi dielektrik secara intens. PVA merupakan konduktor listrik yang buruk, sehingga konduktivitas listrik PVA dapat disesuaikan kebutuhan dengan menggabungkan nanopartikel anorganik yang cocok (Yang et al., 2008). PVA merupakan polimer yang bersifat *electro-spinnable*, *biocompatible*, dan *biodegradable* serta sering digunakan sebagai *guest* polimer dalam berbagai macam penelitian untuk memfabrikasi *nanofiber* dengan *electrospinning*. Penggunaan polivinil alkohol sebagai *guest* polimer telah banyak dijadikan alternatif untuk membantu fabrikasi *nanofiber* dengan *electrospinning* dengan tujuan penggunaannya untuk berbagai aplikasi (Archana et al., 2013).

2.3 Titanium Dioxide (TiO_2)

Metal oxides atau oksida logam telah banyak digunakan untuk mendeteksi gas dengan metode pengukuran konduktif. Oksida logam yang dipilih sebagai sensor gas dapat ditentukan dari struktur elektroniknya. Beberapa oksida logam memiliki kemampuan yang dapat menunjukkan responnya terhadap gas seperti Mn_2O_3, WO_3, TiO_2, dll. Struktur elektronik dari oksida logam yang cukup luas, sehingga oksida logam dibagi menjadi dua kategori yaitu oksida logam transisi dan oksida logam non transisi. Hanya oksida logam transisi dengan konfigurasi d^0 dan d^{10} yang dapat digunakan sebagai aplikasi sensor gas. Konfigugasi d^0 ditemukan dalam oksida logam transisi biner seperti TiO_2, V_2O_5,

WO_3. Sedangkan konfigurasi d^{10} ditemukan dalam oksida logam pasca transisi seperti ZnO dan SnO_2 (Wang et al., 2010).

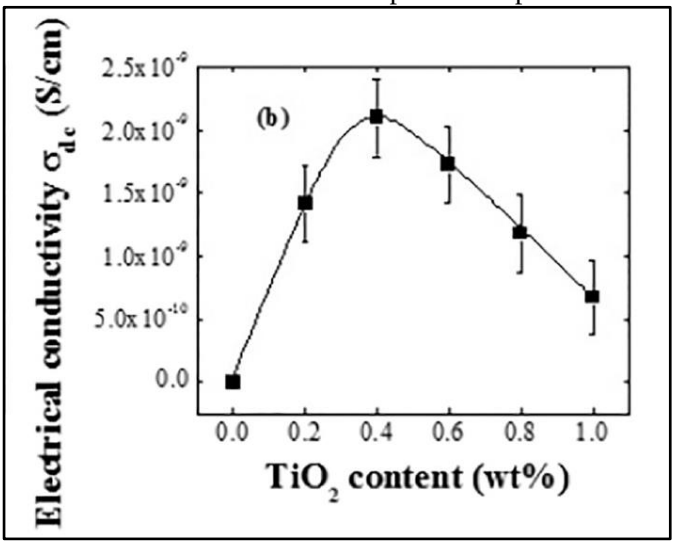
TiO_2 telah banyak diteliti untuk mendapatkan aplikasi seperti perbaikan lingkungan, teknologi sensor, sel surya, sel bahan bakar, penyimpanan energi, fotokatalisis, dan sebagainya. Karena sifat elektrokimianya. TiO_2 juga berfungsi sebagai fotoaktivitas yang sangat baik yang memiliki stabilitas tinggi dan biaya yang cukup rendah. TiO_2 adalah keluarga senyawa oksida logam transisi yang memiliki sifat penginderaan yang baik. Terlebih lagi juga banyak penelitian yang sudah menggunakan TiO_2 sebagai aplikasi sensor gas dengan pengendapan pada film polimer. Akan tetapi, proses ini tergantung dengan muatan permukaan polimer, gugus fungsi, dan ukuran partikel nano (Nasr et al., 2018).

2.4 Material Komposit PVA/TiO_2

Material komposit adalah material yang tersusun dari dua atau lebih material dengan sifat kimia dan fisika yang berbeda. Pencampuran tersebut dapat menghasilkan material baru dengan sifat – sifat yang berbeda dari material utamanya. Material komposit tersusun dari dua tipe material yaitu matriks dan fiber. Fiber berfungsi sebagai material rangka yang komposit sedangkan matriks berfungsi untuk merekatkan fiber. PVA/TiO_2 merupakan salah satu contoh material komposit yang tersusun dari PVA sebagai matriks dan TiO_2 sebagai fiber. Pencampuran material PVA/TiO_2 menjadi material komposit agar dapat menggabungkan sifat-sifat dasar material organik dan anorganik serta meningkatkan sifat – sifat lainnya (Guizard, et al., 2001).

Menurut Jamil, PVA/TiO_2 perlu diselidiki secara luas dengan mengembangkan membran nanokomposit berkinerja tinggi. Penelitiannya menyelidiki sifat morfologi, termal, dan larutan dari membran nanokomposit PVA/TiO_2. Interaksi antara nanopartikel PVA dan TiO_2 menghasilkan peningkatan kekakuan rantai polimer (Jamil, et al., 2014). Penambahan nanopartikel TiO_2 ke dalam PVA diharapkan untuk mencapai nanokomposit polimer yang konduktif dengan sifat yang unik. Selain itu, agar dapat digunakan sebagai

bahan multifungsi untuk aplikasi yang berbeda. Ningaraju melaporkan bahwa konduktivitas *Direct Current* dari PVA/TiO_2 meningkat hingga konsentrasi berat TiO_2 sebesar 0,4 wt% . Pada nanokomposit polimer PVA/TiO_2 menunjukkan peningkatan gerakan pembawa muatan bebas. Sedangkan penurunan konduktivitas DC dari PVA/TiO_2 mulai konsentrasi TiO_2 sebesar 0,4 wt %. Hal tersebut dapat disebabkan oleh interaksi kimia antara titanium dan oksigen dari nanopartikel TiO_2 dengan molekul matriks polimer PVA yang mengakibatkan pembatasan mobilitas rantai. Grafik konduktivitas listrik dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Konduktivitas nanokomposit PVA/TiO_2

(Ningraju, et al., 2018)

2.5 Karbon Monoksida (CO)

Pembakaran *mosquito coil* dan lilin akan melepaskan berbagai bahan kimia beracun dan polutan udara seperti CO, NO, NO_2, NO_x, CH_4, dan NMHC. Konsentrasi gas tertinggi yang dihasilkan oleh pembakaran *mosquito coil* adalah gas CO. Karena *mosquito coil* dengan sengaja dibuat untuk memiliki pembakaran yang sangat

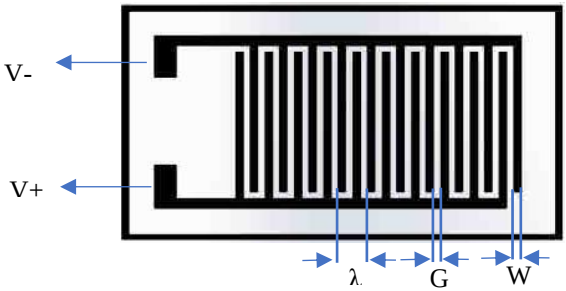
tidak efisien. Karbon monoksida (CO) adalah gas yang dihasilkan oleh pembakaran tidak sempurna dari bahan bakar fosil karbon dan memiliki sifat yang tidak bewarna, tidak berbau, dan tidak menimbulkan iritasi (Lee & Wang, 2006). CO merupakan salah satu gas berbahaya yang dapat mengganggu kesehetan tubuh manusia bahkan juga dapat menimbulkan kematian. Gas CO apabila terhisap ke paru – paru akan mengikuti peredaran darah dan akan menghalangi masuknya oksigen yang dibutuhkan oleh tubuh. Hal ini dapat terjadi karena gas CO bersifat racun metabolis dan akan ikut bereaksi dengan hemoglobin menjadi COHb. Keadaan tersebut akan menyebabkan darah menjadi lebih mudah menangkap CO dan mengakibatkan fungsi vital darah sebagai pengangkut oksigen terganggu (Jason, et al., 2017).

2.6 Sensor

Sensor adalah komponen yang digunakan untuk mendeteksi suatu besaran fisik menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisa dengan rangkaian listrik tertentu. Hampir seluruh peralatan elektronik yang ada mempunyai sensor di dalamnya. Sensor berfungsi untuk melakukakan *sensing* atau “merasakan dan menangkap” adanya perubahan energi eksternal yang akan masuk ke bagian input, sehingga perubahan kapasitas energi yang ditangkap segera dikirim kepada bagian konvertor untuk dirubah menjadi energi listrik. Sensor menurut jenis dan fungsinya ada berbagai macam, salah satunya adalah sensor gas. Sensor gas merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi bahan kimia (gas) untuk diubah menjadi sinyal listrik (Cosandey, et al., 2000).

Interdigital Electrode (IDE) merupakan elemen yang sering digunakan untuk membuat berbagai jenis sensor diantaranya seperti *surface acoustic wave* (SAW) *sensors* dan *chemical sensor*. Kekuatan sinyal keluaran dari IDE dikendalikan melalui desain yang cermat dari area aktif, lebar, dan jarak jari-jari elektroda. IDE tersusun dari elektroda secara periodik dan berbentuk seperti jari berpasangan visualisasi dapat dilihat pada Gambar 2.4. Berdasarkan Gambar 2.4, parameter geometri sensor IDE adalah

jumlah elektroda (N), lebar elektroda (W), jarak pemisah antar elektroda (G), dan unit *cell* (λ) (Igreja & Dias, 2004).



Gambar 2.4 Skema *Interdigital Electrode*

Interdigital Electrode dapat dimanfaatkan menjadi beberapa jenis sensor seperti *chemical sensor* dan sensor akustik. Penggunaan *chemical sensor* yaitu dengan menambahkan atau melapisi sensor IDE menggunakan suatu material. Pelapisan material yang menggunakan prinsip *chemical sensor* dibagi menjadi dua jenis yaitu *chemiresistor* dan *chemicapacitor*. *Chemoresistor* merupakan konsep pelapisan sensor yang menggunakan bahan polimer dan menambahkan material lain untuk menambahkan konduktivitasnya. Berbeda dengan *chemocapacitor* yang merupakan konsep pelapisan sensor dengan menggunakan polimer saja tanpa adanya penambahan material lain (Patel, et al., 2005).

Prinsip sensor *chemiresistor* lebih banyak digunakan untuk sensor gas, karena sensor tersebut dapat dibuat dengan mudah dan biaya yang relatif rendah. Mekanisme *chemiresistor* adalah reaksi yang terjadi antara lapisan pada elektroda dengan gas akan mengakibatkan terjadinya perubahan nilai resistansi atau konduktivitas. Perubahan tersebut terjadi karena adanya perpindahan electron-elektron valensi pada atom-atom material sensor akibat reaksi dengan gas reaktan. Perubahan yang terjadi yaitu reistansi yang menurun atau konduktansi yang meningkat. Konduktivitas menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk dapat

menghantarkan arus listrik. Nilai konduktivitas dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \tag{2.2}$$

Persamaan diatas dapat dijelaskan yaitu sebagai berikut σ adalah konduktivitas listrik (1/Ω.m) dan ρ adalah resistivitas listrik (Ω.m) ((Budi, et al., 2012). .

Dalam penggunaan sensor perlu dilakukan perhitungan sensitivitas. Prinsip dari sensitivitas sensor adalah untuk mengetahui perbandingan antara resistansi awal dengan resistansi perubahan akibat adanya gas. Karena sensor *chemiresistor* yang digunakan, maka akan terjadi perubahan resistansi. Persamaan sensitivitas untu material sensor tipe -n dengan mendeteksi gas pereduksi sebagai berikut

$$S = \frac{Ro}{Rg} \tag{2.3}$$

Sedangkan untuk material sensor tipe -n dengan mendeteksi gas pengoksidasi sebagai berikut

$$S = \frac{Rg}{Ro} \tag{2.4}$$

Penjelasan dari persamaan diatas yaitu S adalah sensitivitas, Ro adalah resistansi pada udara bersih (tanpa *input* gas), dan Rg adalah resistansi ketika sensor sudah terpapar gas. Sedangkan untuk material sensor tipe-p memiliki definisi sensitivitas yang sebaliknya (Wetchakun, et al., 2011).

2.7 Penelitian Sebelumnya

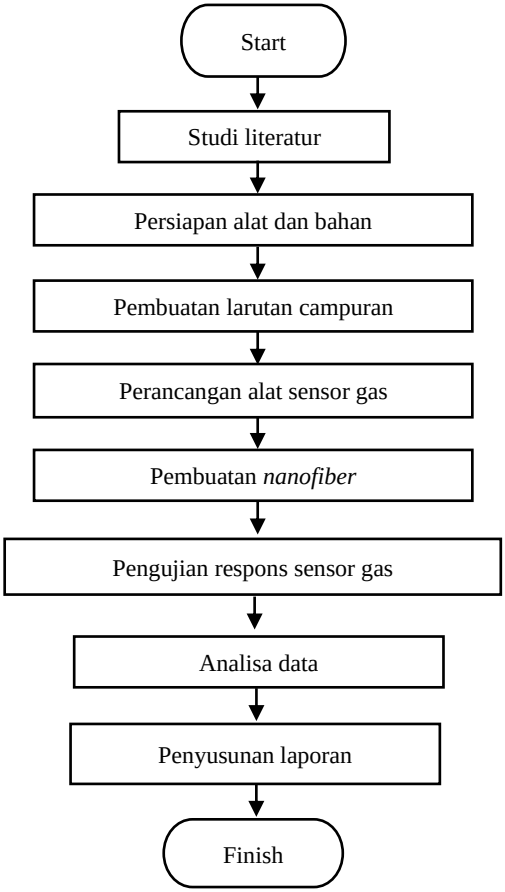
Penelitian ini ada didasari oleh dua jenis penelitian yaitu penelitian tentang pembentukan *nanofiber* PVA/TiO_2 dan penelitian tentang pemanfaatan PVA/TiO_2 sebagai sensor gas. El Fawal melakukan penelitian tentang hasil *electrospinning* PVA dicampur dengan TiO_2 sebagai aplikasi sensor gas. Pada penelitian tersebut PVA/TiO_2 digunakan untuk mendeteksi gas CO_2, O_2, dan

LPG. Dari hasil pengujian terhadap tiga gas tersebut, sensitivitas tertinggi ketika mendeteksi gas LPG.. *Nanofiber* yang terbentuk berdiameter 280 - 310 nm. Semakin banyak konsentrasi dari TiO_2 yang ditambahkan akan memperbesar diameter *nanofiber* (El Fawal et al., 2019). Penelitian lain yaitu tentang struktur dan sifat penginderaan gas CO dari *nanofiber* TiO_2 hasil *electrospinning*. *Nanofiber* TiO2 yang telah berhasil terbentuk yaitu berdiamater 400 – 500 nm. Dalam penelitian tersebut, *nanofiber* TiO_2 mampu merespon gas CO sehingga menarik untuk dikembangkan lebih lanjut. (Park, et al., 2010)

BAB III
METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Digram alir penelitian yang menampilkan langkah penelitian disajikan dalam bentuk Gambar 3.1 sebagai berikut



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini, alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut

3.2.1 Alat

A. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini pada tahap pembuatan larutan dan fabrikasi *nanofiber* adalah sebagai berikut
   1. *Electrospinning*
      Electrospinning digunakan untuk menghasilakn *nanofiber* dengan cara memberikan tegangan tinggi untuk menghasilakn medan listrik yang dapat menarik larutan polimer.
   2. Saklar
      Saklar digunakan untuk memutus dan menyambung aliran listrik.
   3. *Power supply DC*
      Power supply DC digunakan sebagai pemberi tegangan untuk menjalankan *Motor Steper*.
   4. *DC High Voltage*
      DC High Voltage digunakan sebagai pemberi tegangan untuk menghasilkan medan listrik antara *nozzle* dan *collector*.
   5. *Hot Plate Magtetic Stirrer*
      Hot Plate Magtetic Stirrer digunakan untuk membuat larutan polimer dengan kecepatan aduk, suhu, dan waktu yang telah ditentukan.
   6. Gelas Beker
      Gelas beker digunakan untuk mengukur volume zat pelarut dan tempat untuk membuat larutan.
   7. Kabel Buaya
      Kabel buaya digunakan untuk menyambungkan aliran listrik dari *DC High Voltage* ke *Electrospinning.*
   8. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang massa dari zat terlarut.

B. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini pada tahap pengujian sensor gas adalah sebagai berikut
   1. *Interdigital Electrode (IDE)*
      Skema sensor gas yang digunakan pada penelitian ini.
   2. Sensor MQ-9
      Sensor yang digunakan untuk membaca nilai ppm dari gas CO.
   3. Arduino
      Arduino digunakan sebagai pengontrol sensor MQ-9 dan sensor gas berbasis IDE.
   4. Kabel
      Kabel digunakan sebagai penghubung antara sensor dengan arduino.
   5. Laptop
      Laptop digunakan sebagai penampil nilai yang didapatkan dan menyimpan data.
   6. *Chamber*
      Chamber yang terbuat dari pipa digunakan sebagai tempat untuk proses pengukuran gas CO.

3.2.2 Bahan

Dalam penelitian ini digunakan juga bahan-bahan untuk membuat larutan yang akan diuji, bahan – bahan tersebut antara lain :

1. Serbuk PVA *(Polyvinyl Alcohol)*
   Serbuk PVA merupakan bahan yang digunakan sebagai zat terlarut pada larutan polimer.
2. TiO_2
   TiO_2 merupakan bahan yang digunakan sebagai campuran terhadap zat terlarut lainnya.
3. Aquades
   Aquades merupakan bahan yang digunakan untuk melarutkan PVA dan TiO_2.

4. *Alumunium Foil*
   Alumunium Foil digunakan untuk melapisi *collector* dan menangkap *nanofiber* yang terbentuk.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini pada proses pengukuran sensitivitas gas adalah sebagai berikut

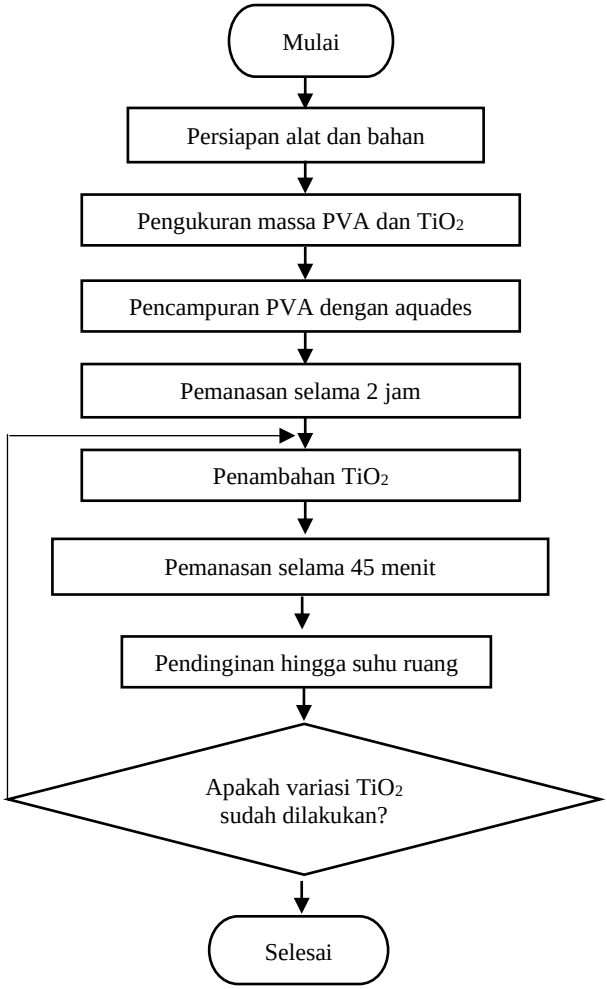
1. *Mosquito Coil*
   Mosquito coil digunakan sebagai penghasil gas CO pada penelitian ini.
2. Korek api
   Korek api digunakan untuk membakar *mosquito coil*.

3.3 Langkah Kerja

Langkah kerja dalam penelitian ini dibagai dalam beberapa tahap sebagai berikut:

3.3.1 Pembuatan Larutan Komposit PVA/TiO_2

Langkah kerja pembuatan larutan dalam penelitian ini dibutuhkan PVA, TiO_2, dan aquades sebagai bahan utamanya. PVA dan TiO_2 digunakan sebagai zat terlarut serta aquades digunakan sebagai zat pelarut. Langkah – langkah dalam pembuatan larutan polimer komposit yaitu disiapkan alat dan bahan. Kemudian dilanjutkan dengan menentukan konsentrasi larutan yang diinginkan. PVA dan TiO_2. Konsentrasi PVA sebesar 7,5% w/v dan TiO_2 0,5% w/v dalam larutan. Kemudian dilakukan pengukuran massa PVA dan pengukuran volume aquades. Pada penelitian ini digunakan konsentrasi PVA sebesar 7,5% w/v terdiri dari PVA sebanyak 7,5 gram, konsentrasi sebesar 0,5% w/v terdiri dari TiO2 sebanyak 0,5 gram, dan aquades sebanyak 92 ml. Setelah dilakukan pengukuran PVA dan aquades dicampur dalam satu gelas beker dengan memasukkan *magnetic stirrer* ke dalam gelas beker juga. Kemudian gelas beker diletakkan diatas *hot plate magnetic stirrer* yang telah diaktifkan. Suhu diatur agar mencapai



Gambar 3.2 Diagram alir pembuatan larutan komposit

80 ℃. Setelah suhu sesuai, *stirrer* diaktifkan agar *magnetic stirrer* dalam gelas beker ikut berputar dan dimulai proses pengadukan larutan. Proses pengadukan larutan PVA ini dilakukan selama dua jam. Setelah dua jam, dilakukan penambahan TiO_2 yang sudah ditentukan sebelumnya pada larutan. Larutan campuran PVA dan

TiO_2 akan diaduk selama 45 menit. Setalah selama 45 menit, larutan campuran PVA dan TiO_2 didiamkan beberapa saat agar suhunya turun mendekati suhu ruang. Setalah proses pendinginan selesai, larutan campuran PVA dan TiO_2 dapat digunakan untuk fabrikasi *nanofiber*. Diagram alir pembuatan larutan dapat dilihat pada Gambar 3.2. Dalam penelitian ini digunakan variasi konsentrasi TiO_2 yaitu 0,1% w/v, 0,2% w/v, 0,3% w/v, 0,4% w/v, dan 0,5% w/v.

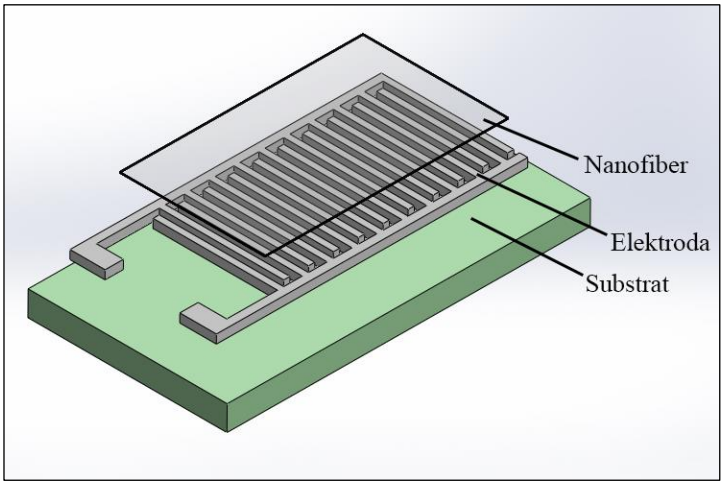
3.3.2 Fabrikasi *Nanofiber* sebagai *Sensing Material*

Larutan campuran PVA dan TiO_2 telah dibuat, kemudian dilanjutkan fabrikasi *nanofiber* dengan alat *electrospinning*. Pertama alat *electrospinning* dipastikan dalam kondisi baik dan siap digunakan. Setelah larutan dibuat, kemudian larutan dimasukkan ke dalam *spuit* sebanyak 12 ml. Larutan dalam *spuit* diusahakan tidak ada gelembung udara. Jika terdapat gelembung udara yang terjebak pada *spuit* maka larutan pada *spuit* dikeluarkan terlebih dahulu, kemudian larutan dimasukkan kembali ke dalam *spuit* dengan hati-hati agar tidak terdapat gelembung udara. Kemudian dipasang selang infus yang terhubung dengan jarum suntik pada *spuit*. Setelah *spuit* tidak ada gelembung udara lagi, *spuit* diletakkan pada *syringe pump* dan jarum suntik dimasukkan ke pada tempat jarum. Kemudian dihubungkan *DC High Voltage* pada jarum suntik dan *collector*. Kemudian *collector* dilapisi oleh aluminium foil. Pada alumunium foil, dilekatkan sensor agar terlapis oleh *nanofiber* pada saat proses fabrikasi. Pada jarum suntik dihubungkan kutub positif dan pada *collector* dihubungkan kutub negatif. Pada *electrospinning* terdapat beberapa parameter yang digunakan untuk fabrikasi *nanofiber*. Variasi parameter pada penelitian ini adalah parameter yang telah digunakan pada peneletian sebelumnya oleh Imam dkk. dan referensi dari El Fawal. Parameter yang digunakan yaitu *flowrate* dari *syringe pump*, kelembaban, *DC High Voltage*, konsentrasi larutan, kecepatan *collector*, jarak jarum ke *collector*, gerak jarum *spinneret*, dan ukuran jarum, *Flowrate* dari *syringe pump* diatur 0,1 ml/jam, kelembaban diatur pada 40%, *DC High Voltage* diatur pada 23 kV,

konsentrasi larutan PVA 7,5% w/v, konsentrasi TiO_2 0,5% w/v, kecepatan rotasi *collector* pada 125 RPM, jarak jarum ke *collector* pada 15 cm, dan gerak jarum *spinneret* pada 0,1 cm/menit. Proses fabrikasi *nanofiber* dilakukan selama tiga jam. Setelah terbentuk *nanofiber*, hasil *nanofiber* yang tertangkap pada alumunium foil akan dilakukan uji SEM. Pengujian SEM digunakan untuk mengetahui morfologi dan diameter *fiber*. Sedangkan hasil *nanofiber* yang terbentuk pada sensor akan dilakukan pengujian untuk menentukan sensitivitas gas terhadap gas CO.

3.3.3 Perancangan Sensor IDE

Rancangan sensor gas CO yang digunakan pada penelitian ini adalah *interdigital electrode.* Dimana pembuatan elektroda pada substrat dengan berbentuk *finger* yang berpasangan. Kemudian elektroda tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.3. Elektroda yang digunakan yaitu dengan spesifikasi sebagai berikut jumlah pasangan *finger* sebanyak 10 pasang, lebar elektroda *finger* sebesar 0.5 mm, dan jarak antara elektroda sebesar 0.5 mm. Sensor IDE

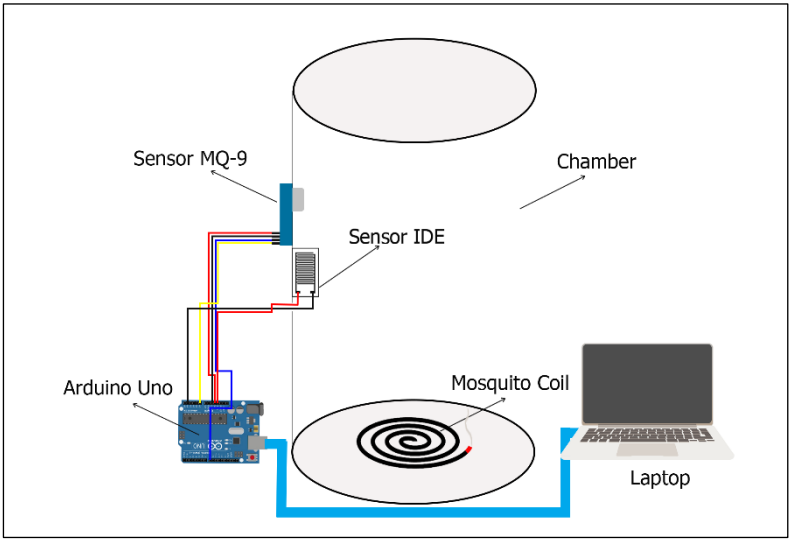


Gambar 3.3 Skema rancangan sensor gas

terdiri dari beberapa lapisan yaitu lapisan substrat, elektroda tembaga dilapisi perak (Ag), dan nanofiber PVA/TiO_2. Elektroda

digunakan sebagai elemen sensor, substrat digunakan sebagai penampang elektroda, dan *nanofiber* digunakan sebagai *sensing material*. Dapat juga diamati Gambar 3.3 sebagai visualisasi sensor IDE yang terdiri dari berbagai lapisan.

Setelah pembuatan sensor maka langkah selanjutnya yang akan dilakukan yaitu perancangan rangkaian pengukuran sensor IDE dan sensor MQ-9 dengan menggunakan Arduino Uno. Kemudian rangkaian tersebut dipasangkan ke *chamber* untuk mempermudah proses pengukuran secara langsung. Terlihat pada Gambar 3.4 yaitu rangkaian pengukuran sensor IDE dan MQ-9. Sensor IDE memiliki 2 kaki elektroda yang akan dihubungkan ke pin Arduino Uno, kaki pertama dihubungkan ke pin 3,3 Volt dan kaki kedua dihubungkan ke pin A4 atau pin Analog. Sedangkan sensor MQ-9 memiliki 4 kaki yaitu Vcc, Gnd, D0, dan A0. Kaki dari sensor MQ-9 dihubungkan sesuai dengan petunjuk pada modulnya, kaki Vcc dihubungkan ke pin 5 Volt, kaki Gnd dihubungkan ke pin Gnd, kaki D0 dihubungkan ke pin 8, dan kaki A0 dihubungkan ke pin

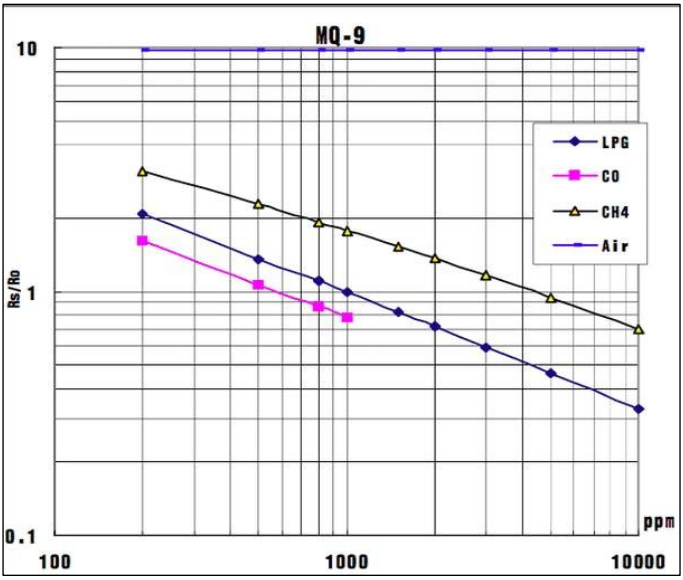


Gambar 3.4 Skema alat pengujian sensor

A0 atau pin Analog. Setelah itu, penempatan kedua sensor tersebut diletakkan pada *chamber* seperti tampilan yang dapat dilihat pada Gambar 3.4.

3.3.4 Pengujian Sensor MQ-9

Sensor MQ-9 digunakan sebagai detektor gas CO pada penelitian ini. Sebelum melakukan pengujian perlu dilakukan kalibrasi sensor MQ-9 untuk mengetahui kadar gas CO yang terdapat pada *chamber* tanpa gas. Kalibrasi tersebut akan digunakan untuk mendapatkan nilai *ratio* atau perbadingan antara Ro dan Rs. Dimana Ro adalah resistansi ketika sensor MQ-9 dimasukkan ke dalam *chamber* sebelum ada perlakuan gas CO. Sedangkan Rs adalah resistansi yang berubah ketika sensor MQ-9 sudah terpapar oleh gas CO. Kalibrasi ini dilakukan dengan bantuan pemograman Arduino agar dapat membaca nilai Ro dan Rs. Setelah mendapatkan nilai Ro dan Rs maka nilai *ratio* dapat dicari. Nilai *ratio* akan digunakan untuk mencari kadar gas CO.



Gambar 3.5 Hubungan *ratio* dan kadar gas pada sensor MQ-9

Dengan Gambar 3.5 yang didapatkan dari *datasheet* sensor MQ-9 akan dicari persamaan yang menyatakan hubungan antara *ratio* dan kadar gas.

Pada Gambar 3.5 dapat dilihat gambar tersebut menyajikan grafik hubungan antara *ratio* resistansi dengan skala logaritma. Sehingga dengan bantuan pembaca skala grafik logaritma didapatkan nilai ratio dan kadar gas CO. Dari beberapa nilai *ratio* dan kadar gas CO yang sudah didapatkan tersebut kemudian dicari persamaan yang menghubungkan keduanya. Didapatkan persamaan kadar gas CO sebagai berikut

$$y = 579{,}43\, x^{-2{,}258} \tag{3.1}$$

Pada persamaan diatas dapat digunakan untuk mencari nilai kadar gas CO. Dengan mendapatkan nilai *ratio* resistansi maka akan langsung didapatkan pula nilai kadar gas CO. Dimana y sebagai variable kadar gas CO dan x sebagai nilai *ratio* resistansi yang didapatkan.

3.3.5 Pengujian Sensor IDE

Pengujian sensor ini dilakukan untuk mencari sensitivitas sensor terhadap gas karbon monoksida (CO). Sensor yang telah dirangkai pada *chamber* akan dihubungkan ke Arduino Uno yang dapat dilihat pada Gambar 3.4. Sebelum melakukan pengujian, perlu dilakukan pemograman Arduino Uno agar Arduino Uno dapat mengontrol, membaca dan menyimpan data yang telah didapat. Pemograman ini menggunakan *software* Arduino IDE, aplikasi pemograman khusus untuk Arduino. Pemograman sensor MQ-9 yaitu untuk mendapatkan nilai ppm gas CO. Sedangkan pemograman sensor IDE yaitu untuk mendapatkan tegangan output dari sensor IDE. Sebelum dilakukan pengujian menggunakan sensor IDE dan MQ-9 akan dilakukan kalibrasi terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai ppm dan tegangan sebelum dimasukkan gas CO ke *chamber*. Kemudian data yang didapatkan oleh sensor IDE dan sensor MQ-9 saat kalibrasi akan disimpan pada Microsoft

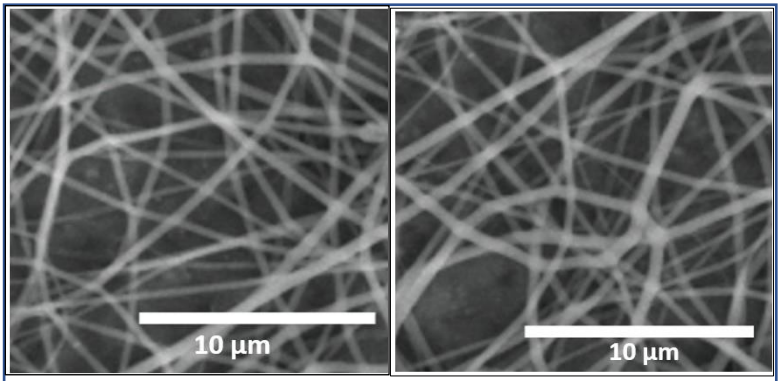
Excel secara *real time*. Setelah melakukan kalibrasi, maka gas CO dapat dimasukkan ke dalam *chamber*. Sensor IDE dan MQ-9 akan mendeteksi gas CO dan akan dikeluarkan dalam bentuk nilai ppm gas CO serta tegangan keluaran yang berubah. Data tersebut kemudian akan disimpan secara *real time* pada Microsoft Excel. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan 6 sampel yaitu Sampel A, Sampel B, Sampel C, Sampel D, dan Sampel E. Masing – masing dari sampel tersebut dibedakan menurut konsentrasi dari TiO_2 yang digunakan. Semua sampel dilakukan dua pengujian yaitu pengujian saat sebelum terpapar oleh gas CO dan saat terpapar oleh gas CO.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa *Nanofiber* PVA/TiO_2

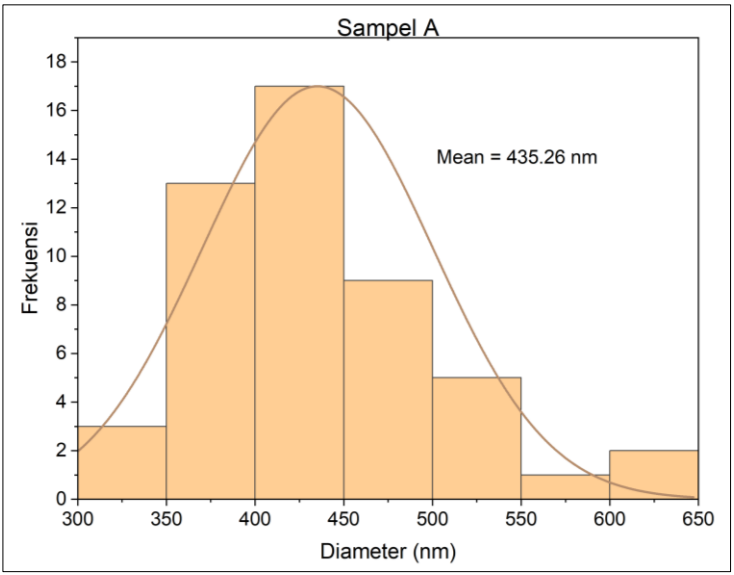
Nanofiber yang digunakan adalah hasil dari fabrikasi larutan komposit PVA dan TiO_2 menggunakan metode *electrospinning*. *Nanofiber* yang sudah terbentuk dari metode *electrospinning* akan dilakukan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy)*. Pengujian tersebut bertujuan untuk dapat mengamati ukuran diameter dari *nanofiber*. Hasil SEM dapat dilihat pada Gambar 4.1 yang memperlihatkan *nanofiber* dari sampel A dan sampel B. Sedangkan untuk sampel yang lain dapat dilihat pada Lampiran I. Distribusi diameter dari sampel A dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan sampel yang lain dapat dilihat pada Lampiran II.



(a) (b)

Gambar 4.1 (a). Hasil SEM untuk sampel A,
(b). Hasil SEM untuk sampel B

Terlihat pada Gambar 4.1 *nanofiber* sudah terbentuk dan dapat diamati dengan jelas. Sehingga dari hasil SEM tersebut dilakukan analisa menggunakan *software* ImageJ untuk mencari distribusi ukuran diameter yang dihasilkan. Maka distribusi diameter *nanofiber* yang dihasilkan dapat diamati pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Distribusi *nanofiber* PVA/TiO_2 sampel A

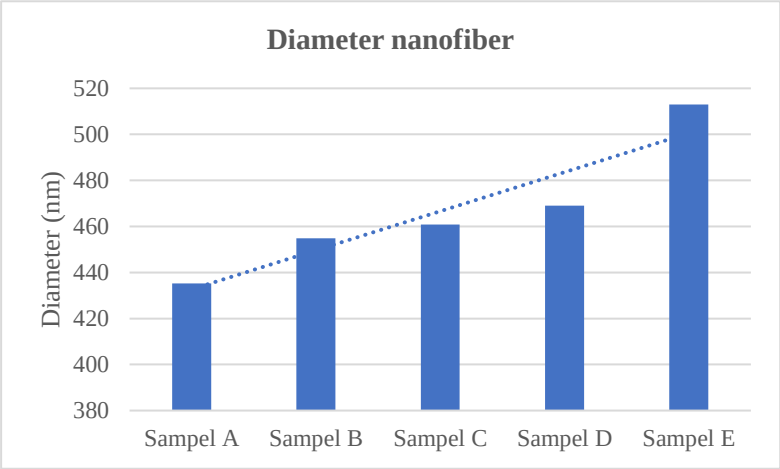
Sampel A memiliki distribusi diameter *nanofiber* yang bervariasi yaitu mulai dari 300 – 650 nm. Distribusi diameter *nanofiber* tersebut disebabkan oleh *taylor cone* yang terbentuk tidak stabil. Karena ketidakstabilan tersbut mengakibatkan *fiber* yang terbentuk menjadi bervariasi dengan rentang distribusi diameter *fiber* semakin besar.

Distribusi diameter *nanofiber* didapatkan nilai diameter rata – rata *nanofiber* tiap sampel. Dalam penelitian ini, Parameter yang digunakan yaitu variasi konsentrasi TiO_2. Hubungan vaariasi konsentrasi TiO_2 dan diameter rata – rata untuk tiap sampel dapat dilihat pada Tabel 4.1. Diameter *nanofiber* mengalami kenaikan seiring dengan penambahan konsentrasi TiO_2 Dapat dilihat dari Gambar 4.8, untuk visualisai huubuungan konsentrasi TiO_2 dengan diameter *nanofiber* dalam bentuk grafik. Semakin besar diameter *nanofiber* diakibatkan oleh sifat TiO_2 yang mudah atau cepat mengeras. Sehingga tegangan permukaan *droplet* larutan PVA/TiO_2 saat pada ujung *nozzle* menjadi besar pula. Jika

dikorelasikan dengan Persamaan 2.1, maka perlu gaya *Coulomb* yang lebih besar untuk dapat menarik *droplet* menuju ke kolektor yaitu dengan meningkatkan tegangan listrik menjadi 23 kV. *Droplet* larutan yang terbentuk jika diberi tegangan tinggi kurang dari 23 kV masih sulit untuk membentuk *taylor cone.*

Tabel 4.1 Klasifikasi sampel berdasarkan konsentrasi TiO_2

Jenis Sampel	Konsentrasi TiO_2	Diameter rata – rata nanofiber (nm)
Sampel A	0,1% w/v	435,26
Sampel B	0,2% w/v	454,84
Sampel C	0,3% w/v	460,89
Sampel D	0,4% w/v	469,1
Sampel E	0,5% w/v	512,95

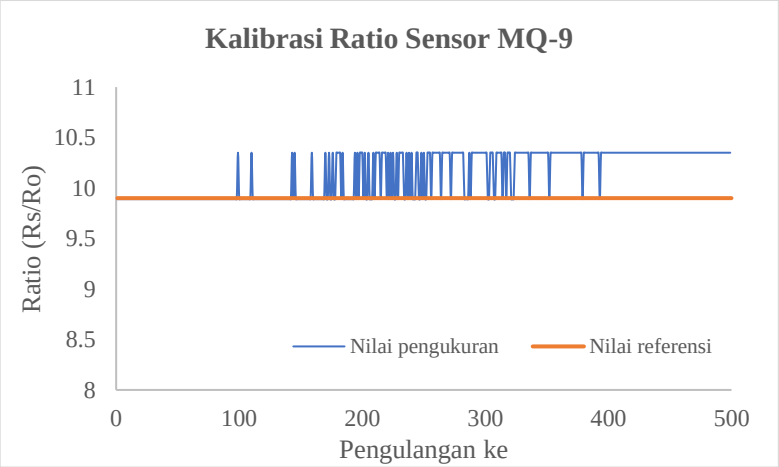


Gambar 4.3 Grafik hubungan konsentrasi TiO_2 dengan diameter *nanofiber*

Menurut El Fawal, diameter *fiber* meningkat dengan bertambahnya konsentrasi TiO_2. Sehingga penelitian ini memiliki kesesuaian dengan penelitian tersebut.

4.2 Kalibrasi Nilai *Ratio* Sensor MQ-9

Pengukuran menggukanan sebuah alat perlu dilakukan kalibrasi untuk mengetahui keakuratan dari alat yang akan digunakan. Kalibrasi kadar gas CO dilakukan dengan cara pembacaan nilai *ratio* resistansi pada kondisi awal sebelum ada gas CO. Pembacaan kadar gas CO tersebut dengan cara pengukuran Ro dan Rs dari pemograman Arduino yang sudah dilakukan. Kalibrasi dilakukan dengan pembacaan nilai *ratio* secara *real time*. Hasil dari pengukuran kadar gas CO menggunakan sensor MQ-9 dapat dilihat pada Grafik 4.4.



Gambar 4.4 Grafik kalibrasi nilai *ratio* sensor MQ-9

Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa nilai dari *ratio* yang awalnya stabil kemudian menjadi berubah – ubah dan stabil lagi. Hal tersebut merupakan penyesuaian dari sensor MQ-9 dalam membaca kondisi *chamber* terhadap gas CO. Pengambilan data tersebut dilakukan selama waktu 500 detik. Waktu yang dilakukan sudah cukup untuk mendapatkan data nilai *ratio* yang stabil lagi. Setelah itu, dilakukan perhitungan untuk mencari *error* yang dilakukan pada pengukuran ini. Dengan menggunakan referensi dari *datasheet* sensor MQ-9 didapatkan nilai *ratio* pada keadaan atau kondisi udara normal adalah 9,9. Berikut ini contoh perhitungan nilai *error* dan

keakuratan dari sensor MQ-9 terhadap nilai *ratio* yang didapatkan :

$$Error = \frac{|\, nilai\ referensi - nilai\ pengukuran \,|}{nilai\ referensi}\ x\ 100\%$$

$$Error = \frac{|\, 9{,}9 - 9{,}89 \,|}{9{,}9}\ x\ 100\%$$

$$Error = 0{,}001\ \ x\ 100\%$$

$$Error = 0{,}1\ \%$$

$$Keakuratan = (100 - 0{,}1)\ \% = 99\ \%$$

Data yang sudah diambil akan dilakukan perhitungan yang sama untuk mencara nilai *error* dan keakuratan. Berikut ini untuk sajian data nilai *error* dan keakuratan rata-rata :

Tabel 4.2 Data *error* dan keakuratan pengukuran *ratio* MQ-9

No	Ratio	Error	Keakuratan
1	9,89	0,101	99,899
2	9,89	0,101	99,899
3	9,89	0,101	99,899
4	9,89	0,101	99,899
5	9,89	0,101	99,899
……			
499	10,35	4,545	95,455
500	10,35	4,545	95,455
Rata - rata		2,510	97,49

Pada Tabel 4.2 didapatkan nilai rata-rata dari keakuratan kalibrasi sensor MQ-9 yaitu sebesar 97,49. Nilai keakuratan yang cukup besar menandakan pengukuran yang dilakukan mendekati nilai sebenarnya. Sehingga sensor masih cukup baik untuk digunakan sebagai alat pengukuran pada penelitian ini.

4.3 Presisi Kadar Gas CO Sensor MQ-9

Pada pengukuran menggunakan sensor MQ-9 perlu dilakukan pemograman dengan memasukkan persamaan yang sudah didapat untuk menghasilkan kadar gas CO. Seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya, kadar gas CO yang didapatkan adalah merupakan hubungan perhitungan dengan nilai *ratio* yang didapatkan pada pengukuran. Dengan menggunakan Persamaan 3.1, maka nilai *ratio* yang didapatkan dari hasil kalibrasi pada Tabel 4.2 bisa digunakan untuk mencari kadar gas CO. Berikut ini adalah contoh perhitungan untuk mencari kadar gas CO menggunakan sensor MQ-9 :

$$y = 579{,}43\ x^{-2{,}258}$$

$$y = 579{,}43\ x\ 9.89^{-2{,}258}$$

$$y = 3{,}28 \text{ ppm}$$

Tabel 4.3 Tabel perhitungan presisi

No	x	y	$\bar{y}$	$(y-\bar{y})$	$(y-\bar{y})^2$	$\sum(y-\bar{y})^2$
1	9.89	3,28	3,11	0,17	0,030	12,71
2	9.89	3,28		0,17	0,030	
3	9.89	3,28		0,17	0,030	
4	9.89	3,28		0,17	0,030	
5	9.89	3,28		0,17	0,030	
…..						
499	10.35	2,96	3,11	-0,15	0,021	12,71
500	10.35	2,96		-0.15	0.021	

Dengan y adalah kadar gas CO dan x adalah nilai *ratio*, maka didapatkan kadar gas CO pada nilai *ratio* sebesar 9,89 yaitu 3,28 ppm. Dengan menggunakan perhitungan yang sama untuk nilai ratio yang lain. Karena pengukuran kadar gas CO dilakukan sebanyak 500 kali, maka akan dilakukan perhitungan untuk mencari nilai presisi dari pengukuran sensor MQ-9. Perlu diketahui sebelumnya, kadar gas CO yang didapatkan pada perhitungan ini adalah pada *chamber* dengan kondisi belum terisi oleh gas CO.

Pada Tabel 4.3 akan dilakukan perhitungan untuk menentukan ralat mutlak, ralat nisbi, dan keseksamaan. Berikut perhitungan untuk menentukan ralat mutlak, ralat nisbi, dan keseksamaan :

a. Ralat Mutlak

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum(y-\bar{y})^2}{n\,x(n-1)}}$$

$$\Delta = \sqrt{\frac{12{,}71}{500\,x(500-1)}}$$

$$\Delta = 1{,}429\ x\ 10^{-5}$$

b. Ralat Nisbi

$$\mathrm{I} = \frac{\Delta}{\bar{y}}\ x\ 100\%$$

$$\mathrm{I} = \frac{1{,}429\ x\ 10^{-5}}{3{,}11}\ x\ 100\%$$

$$\mathrm{I} = \frac{1{,}429\ x\ 10^{-5}}{3{,}11}\ x\ 100\%$$

$$\mathrm{I} = 0{,}455\ x\ 10^{-3}\ \%$$

c. Keseksamaan

K = 100% - I

K = 100% - 0,455 x 10^{-3} %

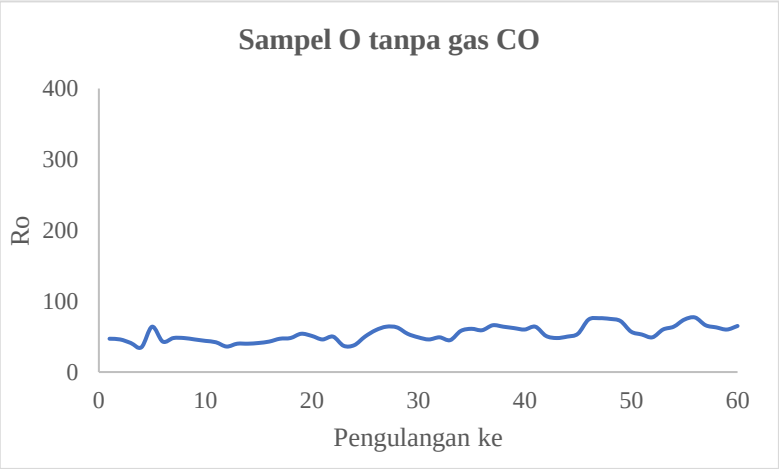
K = 99,9996 %

Pada Tabel 4.2 didapatkan nilai *error* yang cukup kecil untuk kalibrasi sensor MQ-9. Maka nilai keakuratan yang didapatkan menjadi cukup besar. Sehingga sensor MQ-9 masih dalam kondisi baik untuk digunakan. Pada proses kalibrasi, didapatkan data nilai *ratio* untuk sensor MQ-9. Nilai *ratio* tersebut akan digunakan untuk perhitungan mencari kadar gas CO. Dari perhitungan kadar gas CO tersebut maka didapatkan nilai kadar gas CO sesuai dengan jumlah *ratio* yang didapatkan. Karena terdapat pengulangan sebanyak 500 kali maka kalibrasi tersebut perlu dilakukan perhitungan untuk mencari nilai presisi dari tiap datanya. Nilai presisi adalah nilai keakuratan dari data yang didapatkan antara satu dengan yang lain. Sehingga, apabila nilai presisi semakin

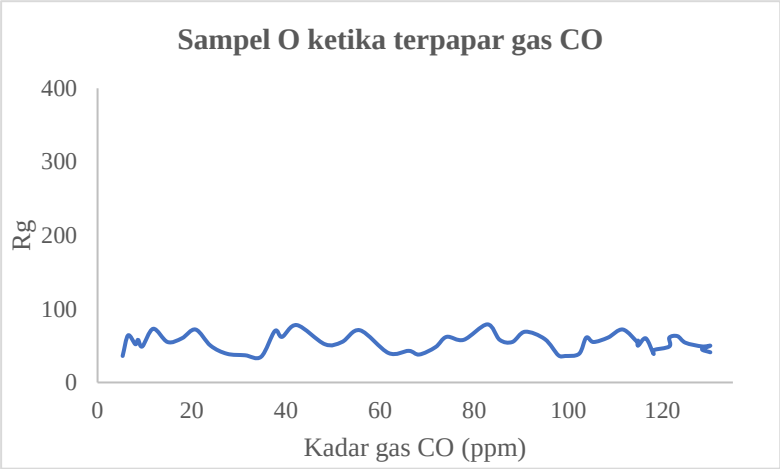
besar maka data yang didapatkan antara satu dengan yang lain mendekati nilai yang sama. Dari perhitungan nilai presisi tersebut didapatkan nilai kepresisiannya yaitu 99,9996 %, maka tingkat kepresisian kalibrasi kadar gas CO sudah sangat baik.

4.4 Analisis Sensor IDE

Pada penelitian ini juga menganalisa Sensor IDE yang digunakan terhadap gas CO. Pengujian yang dilakukan yaitu dengan menguji sensor IDE tanpa *nanofiber* PVA/TiO_2 yang akan disebut sebagai sampel O. Dari Gambar 4.5 menampilkan data resistansi awal sampel O pada kondisi *chamber* tanpa *input* gas CO. Sedangkan pada Gambar 4.6 menampilkan resistansi sampel O ketika terpapar oleh gas CO. Ro yang ditampilkan memiliki nilai yang stabil sebelum terpapar gas dan Rg juga memiliki nilai yang stabil ketika sampel sudah terpapar gas CO. Nilai Ro dan Rg yang didapatkan memiliki nilai yang kecil jika dibandingkan dengan sampel A, B, C, D, dan E. Dan dari kedua grafik tersebut dapat menjelaskan bahwa sensor IDE yang digunakan tanpa *nanofiber* PVA/TiO_2 tidak dapat merespon gas CO.



Gambar 4.5 Grafik resistansi awal sampel O tanpa gas CO



Gambar 4.6 Grafik resistansi sensor terhadap gas CO

Oleh karena itu, dengan penambahan *nanofiber* PVA/TiO_2 diharapkan dapat merespons gas CO.

4.5 Pengujian Sensor IDE Tanpa Gas CO

Pengujian sensor IDE menghasilkan sinyal ADC dari pembacaan pin Analog pada Arduino. Pengujain ini dilakukan pada kondisi *chamber* belum terisi oleh gas CO. Sensor IDE yang digunakan ada berbagai macam variasi sampel yang ditentukan dari konsentrasi TiO_2. Variasi yang digunakan berupa sampel A, sampel B, sampel C, sampel D, dan sampel E. Ada sampel O yang merupakan sampel tanpa adanya lapisan nanofiber pada sensor IDE-nya. Sehingga contoh data dari hasil pembacaan sensor IDE terhadap kondisi *chamber* sebelum terisi gas CO dapat dilihat pada Tabel 4.4.

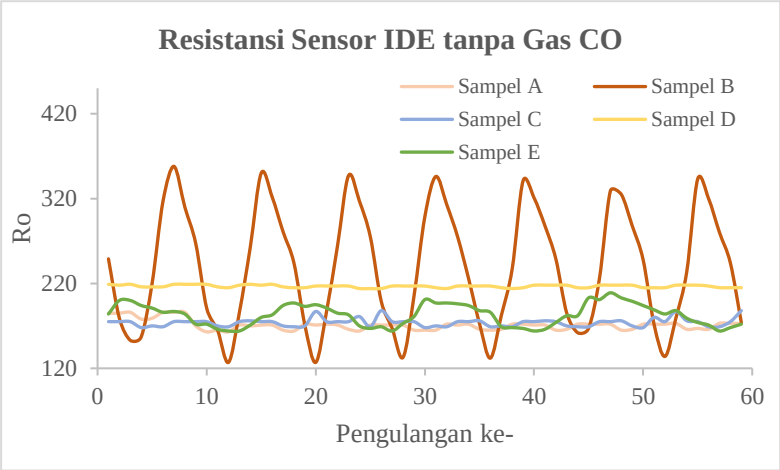
Sinyal *input* dan *output* ADC digunakan sebagai pembanding nilai resistansi pada sensor IDE. Pada Tabel 4.4 tersebut dapat dilihat perbedaan nilai *input* dan *output* ADC karena sensor IDE bukan murni penghantar listrik yang baik. Sehingga terdapat resistansi yang dapat menghambat sinyal yang diberikan.

Tabel 4.4 Tabel beberapa data hasil pembacaan sampel A

Pengukuran ke-	Sinyal Input ADC	Sinyal Output ADC
1	681	430
2	681	430
3	681	430
4	681	430
5	681	431
6	681	431
7	681	430
8	681	430
9	681	430
10	681	430

Sesuai dengan Persamaan 2.4, nilai konduktivitas berbanding terbalik dengan nilai resistivitas. Semakin konduktif sensor IDE yang digunakan maka semakin kecil nilai resistansinya. Karena perbedaan nilai sinyal antara *input* dan *output* maka terdapat resistansi yang menghambatnya. Oleh karena itu, nilai ΔADC sebanding dengan nilai resistansi pada sensor. Agar lebih mudah penyebutan maka ΔADC = Resistansi (R).

Pada Gambar 4.7 dapat dilihat data hasil pembacaan resistansi sensor IDE mulai dari sampel A hingga sampel E. Nilai keluaran dari sensor IDE yang terbaca adalah berupa sinyal ADC. Pada sanpel A, B, C, D, dan E memilliki nilai sinyal keluaran yang relatif stabil. Hal tersebut dikarenakan karena kondisi *chamber* yang masih kosong tanpa adanya masukan gas CO. Nilai resistansi awal dari sampel A, C, dan E memiliki nilai yang hamper sama, berbeda dengan sampel B dan D. Sampel D memiliki nilai resistansi awal yang lebih besar dari sampel A, C, dan E. Sedangkan sampel B terdapat perbedaan grafik yaitu grafik sampel B menunjukkan nilai

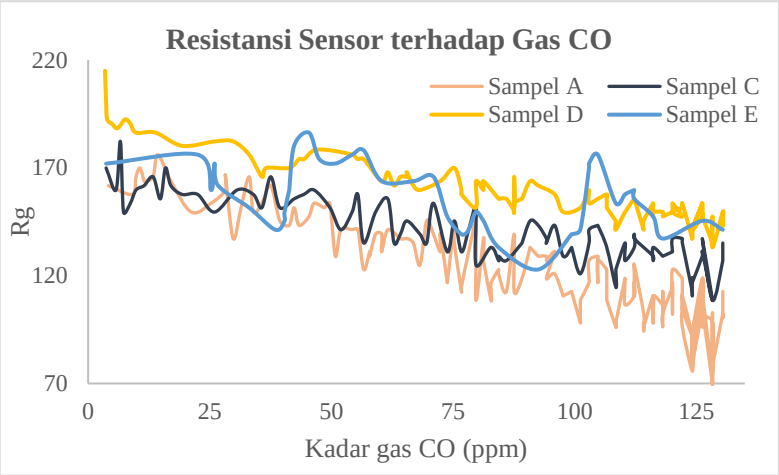


Gambar 4.7 Grafik resistansi sensor IDE tanpa gas CO

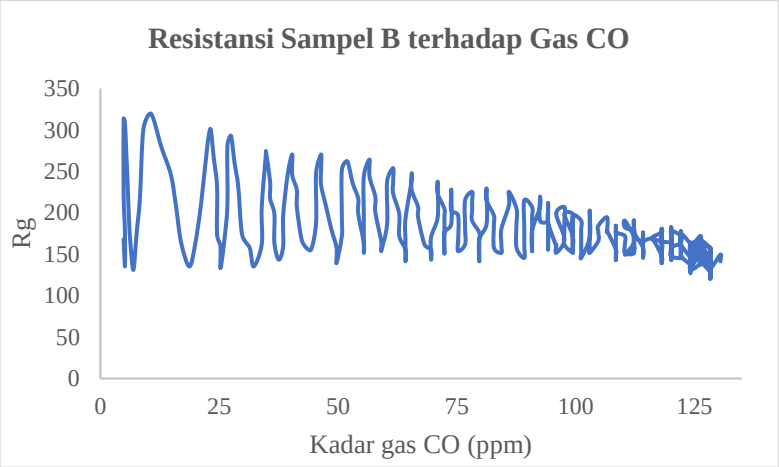
yang berubah-ubah secara fluktuatif dengan rentang yang cukup besar. Teori yang dapat menjelaskan grafik pada sampel B yaitu *chemicapacitor*. Karena sifat kapasitor yang dapat melakukan pengisian dan pengosongan. Sehingga dapat diasumsikan TiO_2 pada sampel belum tercampur sempurna dengan PVA. Maka penambahan TiO_2 pada sampel B tidak terlalu mempengaruhi konduktivitas sampel B, sehingga mengakibatkan terjadinya perubahan sifat ke *chemicapacitor*.

4.6 Pengujian Sensor IDE terhadap gas CO

Sensor IDE yang sudah dilakukan pengujian pada udara di dalam *chamber* sebelum ada gas CO akan dilakukan pengujian untuk mengetahui respons sensor terhadap gas CO. Respons sensor IDE terhadap gas CO dapat diamati dengan penurunan nilai resistansi pada Gambar 4.8. Pada pengujian sensor IDE terhadap gas CO akan mendapatkan keluaran sinyal ADC. Dapat dilihat pada Gambar 4.9, nilai resistansi sensor menggunakan sampel B terlihat menurun dan menyempit. Seperti yang sudah dijelaskan, bahwa perbedaan bentuk grafik diasumsikan terjadi karena sensor berubah sifat menjadi *chemicapacitor*.



Gambar 4.8 Grafik resistansi sensor terhadap gas CO



Gambar 4.9 Grafik resistansi sampel B terhadap gas CO

4.7 Analisa Sensitivitas Sensor

Data resistansi yang sudah didapatkan akan digunakan untuk perhitungan mencari nilai sensitivitas tiap sampel sensor IDE. Sensitivitas adalah kemampuan dari suatu sensor untuk dapat mendeteksi gas

$$Sensitivitas = \frac{Rg}{Ro}$$

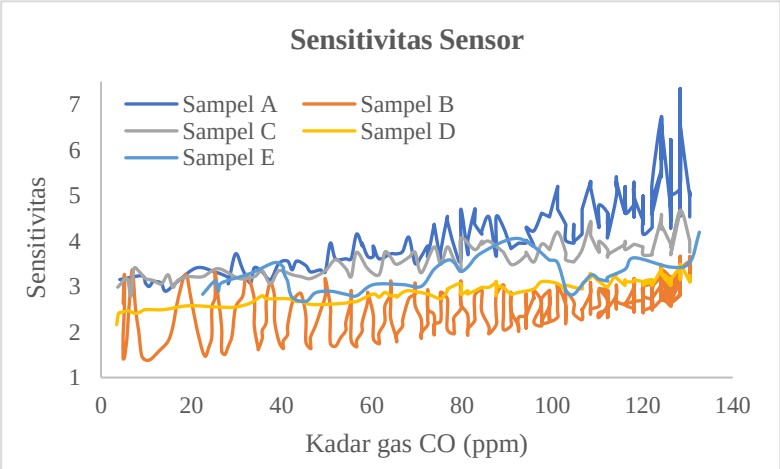
$$Ro = resistansi\ sensor\ ketika\ sebelum\ terpapar\ gas$$

$$Rg = resistansi\ sensor\ ketika\ sudah\ terpapar\ gas$$

Berikut adalah contoh perhitungan untuk mencari nilai sensitivitas dari sensor IDE :

$$Sensitivitas = \frac{496}{162}$$

$$Sensitivitas = 3.15$$

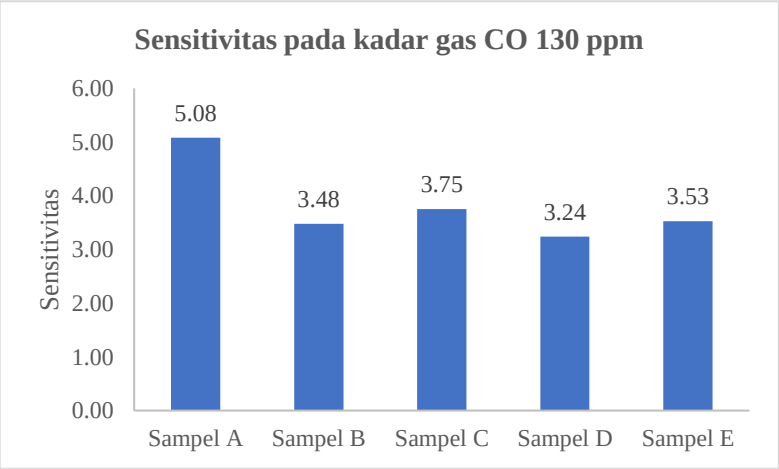


Gambar 4.10 Grafik sensitivitas sensor hingga kadar gas CO 130 ppm

Gas CO merupakan gas pereduksi yang dihasilkan dari pembakaran karbon. Sedangkan TiO_2 adalah material semikonduktor tipe n yang memiliki sifat baik dalam hal penginderaan terhadap gas. Semikonduktor tipe n dengan gas pereduksi dapat bereaksi sehingga akan mengakibatkan penurunan resistansi sensor. Hal tersebut terjadi pada penelitian ini, dimana apabila *nanofiber* PVA/TiO_2 bereaksi dengan gas CO maka resistansi yang terdapat pada sensor akan semakin kecil. Fenomena tersebut dapat diamati pada Gambar 4.10, dimana grafik semakin

menurun seiring dengan meningkatnya kadar gas CO. Pada Gambar 4.10 tersebut juga menjelaskan bahwa sensor IDE yang digunakan pada penelitian ini dapat memiliki respons terhadap gas CO. Dengan mengambil *sampling* untuk menunjukkan nilai sensitivitas pada saat kadar gas CO 130 ppm dapat dilihat pada Gambar 4.11.

Hubungan antara diameter rata-rata dengan sensitivitas masih sulit untuk dianalisa. Karena data yang didapatkan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan tiap sampel. Distribusi diameter *nanofiber* yang terlalu luas menjadi kemungkinan terjadinya hal tersebut. Karena semakin luas distribusi diameter



Gambar 4.11 Grafik sensitivitas pada kadar gas CO 130 ppm

menjadikan luas permukaan tiap *nanofiber* berbeda-beda. Luas permukaan yang acak antara tiap sampel tersebut membuat sensitivitas tidak bisa dikorelasikan dengan ukuran diameter rata - rata *nanofiber*. Akan tetapi jika dilihat secara keseluruhan, sampel A dengan diameter rata-rata *nanofiber* terkecil dapat memiliki sensitivitas tertinggi.

4.8 Analisa Fenomena Elektrokimia Sensor

Sensor IDE pada penelitian ini terdiri dari beberapa lapisan yaitu substrat, elektroda, dan *material sensing.* Pada *material sensing* yang terbuat dari *nanofiber* PVA/TiO_2 akan terjadi proses reaksi kimia yang diubah menjadi sinyal listrik. Hal tersebut terjadi karena interaksi TiO_2 sebagai material penginderaan dengan gas CO. Interaksi tersebut mengindikasikan terjadinya reaksi elektrokimia. Karena prinsip dari sensor IDE adalah *chemiresistor.* Ketika TiO_2 berinteraksi dengan gas CO maka akan mengakibatkan perubahan nilai resistansi yang terbaca pada sistem. Dalam penelitian ini ditandai dengan adanya perubahan tegangan tersebut. Karena tidak bisa mengukur secara langsung resistansi yang terjadi pada saat penelitian, maka tegangan yang tersebut dapat digunakan sebagai pembanding terhadap perubahan resistansi.

Penggunaan *nanofiber* sebagai *sensing material* pada sensor IDE karena keunggulan dari *nanofiber* seperti luas permukaan per volume yang lebih besar. *Nanofiber* dari larutan komposit PVA/TiO_2 mampu merespon gas CO yang diberikan. PVA yang digunakan berfungsi sebagai material pembentuk *fiber,* sedangkan TiO_2 digunakan sebagai material yang mampu melakukan penginderaan terhadap gas CO. *Nanofiber* PVA/TiO_2 melapisi elektroda untuk meningkatkan mobilitas elektron antar elektroda. Sehingga apabila *material sensing* menangkap gas CO maka akan terjadi reaksi seperti yang sudah dijelaskan pada prinsip *chemiresistor*. Jika dilihat pada Gambar 4.8, hubungan antara konsentrasi TiO_2 dengan sensitivitas yaitu sensitivitas tertinggi dihasilkan dari konsentrasi TiO_2 terendah pada Sampel A dan sensitivitas terendah didapatkan pada Sampel D.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Rancang bangun sensor gas berbasis *interdigital electrode* dan *nanofiber* PVA/TiO_2 telah dibuat serta mampu merespons gas CO.
2. Sensor IDE tanpa lapisan *nanofiber* tidak dapat merespons gas CO.
3. Sensitivitas yang didapatkan pada kadar gas CO sebesar 130 ppm : Sampel A sebesar 5,08; Sampel B sebesar 3,48; Sampel C sebesar 3,75; Sampel D sebesar 3,24; dan Sampel E sebesar 3,53.

5.2 Saran

Saran yang akan diberikan oleh penulis adalah sebagai berikut

1. Dalam penelitian selanjutnya, perlu adanya pengujian sensitivitas dan selektivitas gas.
2. Perlu adanya perbandingan skema *interdigital electrode* untuk dapat mengetahui pengaruhnya terhadap respons gas.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Budi, G., Rival, M. & J, H., 2012. Characterization of Polymeric Chemiresistors for Gas Sensor. *Telkomnika*, Volume 10, pp. 275-280.

Cosandey, F., Skandon, G. & Singhai, A., 2000. Material and Processing Issues in Nano-Structured Semiconductor Gas Sensors.. *The Minerals, Metals, and Materials Society.*

Archana, D., Dutta, J., Dutta, P.K., 2013. Evaluation of chitosan nano dressing for wound healing: Characterization, in vitro and in vivo studies. Int. J. Biol. Macromol. 57, 193–203.

El Fawal, G.F., Hassan, H.S., El-Aassar, M.R., Elkady, M.F., 2019. Electrospun Polyvinyl Alcohol Nanofibers Containing Titanium Dioxide for Gas Sensor Applications. Arab. J. Sci. Eng. 44, 251–257.

El-Aassar, M.R., Fouda, M.M.G., Kenawy, E.-R., 2013. Electrospinning of Functionalized Copolymer Nanofibers from Poly(acrylonitrile- *co* -methyl methacrylate): Electrospinning Of Functionalized Copolymer Nanofibers. Adv. Polym. Technol. 32.

Feng, J.J., 2002. The stretching of an electrified non-Newtonian jet: A model for electrospinning. Phys. Fluids 14, 3912–3926.

Guizard, C., Bac, A. & Barboiu, M., 2001. Hybrid organic-inorganic membranes with specific transport properties: applications in separation and sensors technologies. *Separation and Purification Technology,* 25(1-3), pp. 167-189.

Hassan, H.S., Elkady, M.F., Farghali, A.A., Salem, A.M., El-Hamid, A.I.A., 2017. Fabrication of novel magnetic zinc oxide cellulose acetate hybrid nano-fiber to be utilized for phenol decontamination. J. Taiwan Inst. Chem. Eng. 78, 307–316.

Igreja, R. & Dias, C. J., 2004. Analytical Evaluation of the Interdigital Electrodes Capacitance for a Multi-Layered Structure. *Sensor Actuator Physical,* pp. 291-301.

Jamil, A., Kalim, D., Muddasar, H. & May, B. H., 2014. Influence of TiO2 Nanoparticles on the Morphological, Thermal and Solution Properties of PVA/TiO2 Nanocomposite Membranes. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(10), pp. 6805-6814.

Jason, J. R. et al., 2017. Carbon Monoxide Poisoning: Pathogenesis, Management, and Future Direction of Therapy. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 195(5).

Lee, S. C. & Wang, B., 2006. Characteristics of emissions of air pollutants from mosquito coils and candles burning in a large enviromental chamber. *Atmospheric Environment*, Volume 40, pp. 2128 - 2138.

Nasr, M., Eid, C., Habchi, R., Miele, P., Bechelany, M., 2018. Recent Progress on Titanium Dioxide Nanomaterials for Photocatalytic Applications. ChemSusChem 11, 3023–3047.

Ningraju, S., Gnana, A. P. P. & Ravikumar, H. B., 2018. Studies one free volume controlled electrical properties of PVA/NiO and PVA/TiO2 polymer nanocomposites. *Elsevier*, 320(Solid State Ionics), pp. 132-147.

Park, J.-A.et al., 2010. Structure and CO gas sensing properties of electrospun TiO2 nanofiber. *Material Letters*, pp. 255-257.

Patel, S. V., Hobson, S. T., C, S. & Mlsna, T. E., 2005. Chemicapacitive Microsensor for Detection of Explosives an TICs. *Seacoast Science.*

Patil, J.V., Mali, S.S., Kamble, A.S., Hong, C.K., Kim, J.H., Patil, P.S., 2017. Electrospinning: A versatile technique for making of 1D growth of nanostructured nanofibers and its applications: An experimental approach. Appl. Surf. Sci. 423,641–674.

Reneker, D.H., Yarin, A.L., Fong, H., Koombhongse, S., 2000. Bending instability of electrically charged liquid jets of

polymer solutions in electrospinning. J. Appl. Phys. 87, 4531–4547.

Sasipriya, K., Suriyaprabha, R., Prabu, P., Rajendran, V., 2013. Synthesis and characterisation of polymeric nanofibers poly (vinyl alcohol) and poly (vinyl alcohol)/silica using indigenous electrospinning set up. Mater. Res. 16, 824–830.

Subbiah, T., Bhat, G.S., Tock, R.W., Parameswaran, S., Ramkumar, S.S., 2005. Electrospinning of nanofibers. J. Appl. Polym. Sci. 96, 557–569.

Wang, C., Yin, L., Zhang, L., Xiang, D., Gao, R., 2010. Metal Oxide Gas Sensors: Sensitivity and Influencing Factors. Sensors 10, 2088–2106.

Wetchakun, K. et al., 2011. Semiconducting metal oxides as sensors for environmentally hazardous gases. *Sensors Actuator B Chemical,* Volume 160, pp. 580-591.

Yadav, B., 2011. Solid State Titania based Gas Sensor for Liquefied Petroleum Gas Detection at Room Temperature. *Science Journal*, 37(7), pp. 1639-1644.

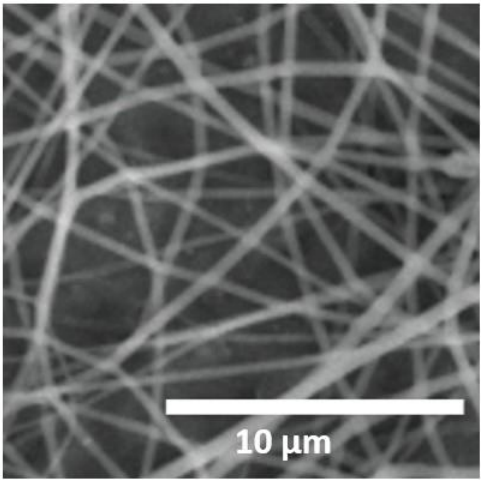
Yang, X., Liu, Q., Chen, X., Yu, F., Zhu, Z., 2008. Investigation of PVA/ws-chitosan hydrogels prepared by combined γ-irradiation and freeze-thawing. Carbohydr. Polym. 73, 401–408.

Yavuz, E., 2019. Carbon Monoxide Poisoning. *Eurasian Journal of Toxicology,* I(1), pp. 1-6.

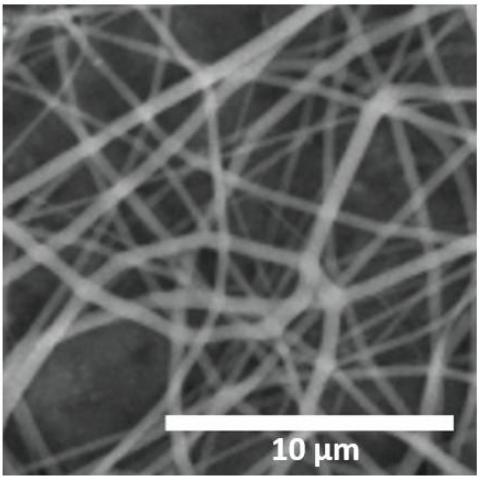
Yudoyono, G., Sudarsono & Anggoro, D., 2019. Preparation and Characterization of Electrospun Composite Fiber of Polymer-TiO2. *Material Science Forum,* Volume 966, pp. 60-65.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

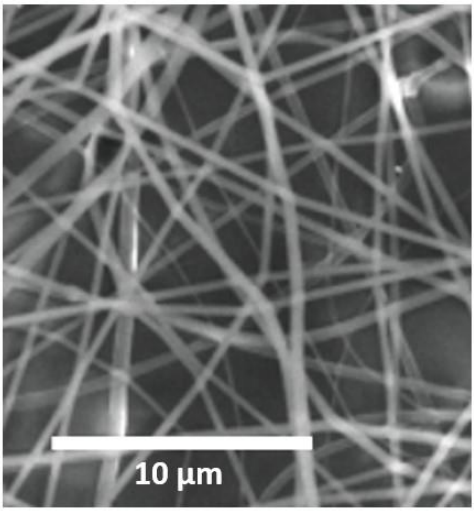
LAMPIRAN I



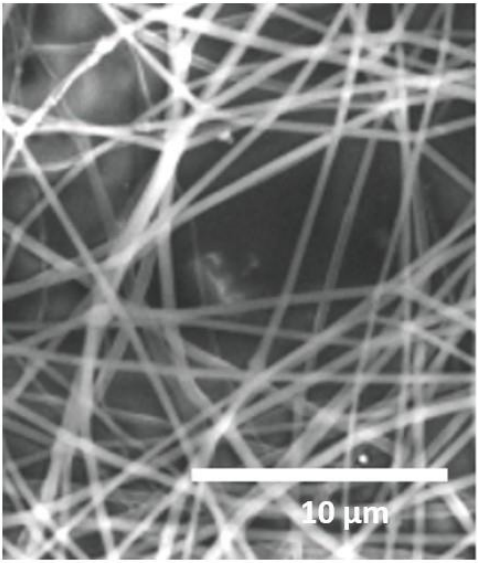
Gambar I.1 Hasil SEM dari sampel A



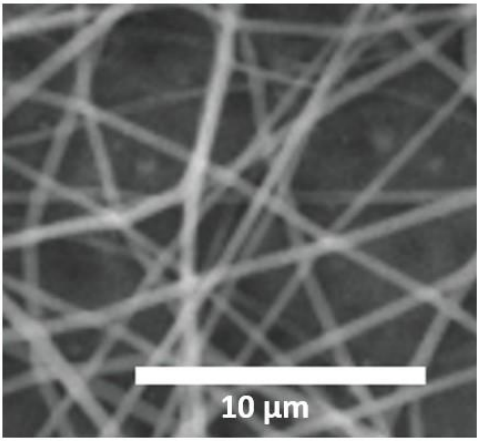
Gambar I.2 Hasil SEM dari sampel B



Gambar I.3 Hasil SEM dari sampel C



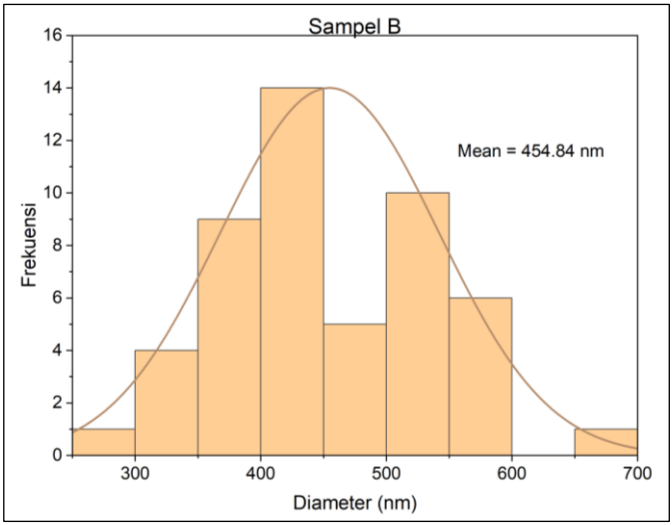
Gambar I.4 Hasil SEM dari sampel D



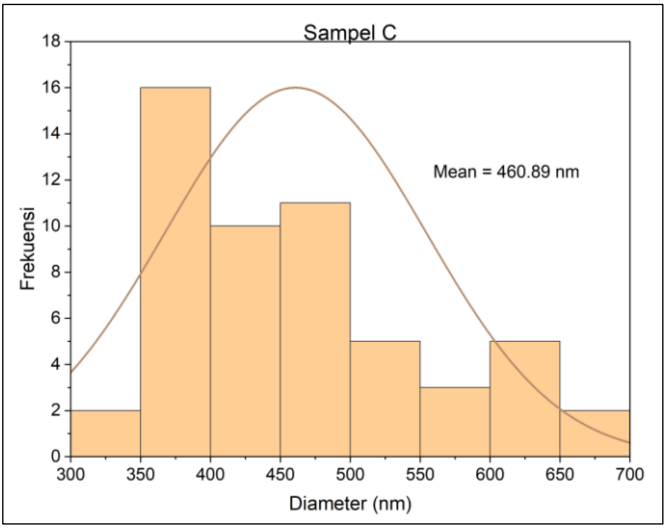
Gambar I.5 Hasil SEM dari sampel E

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

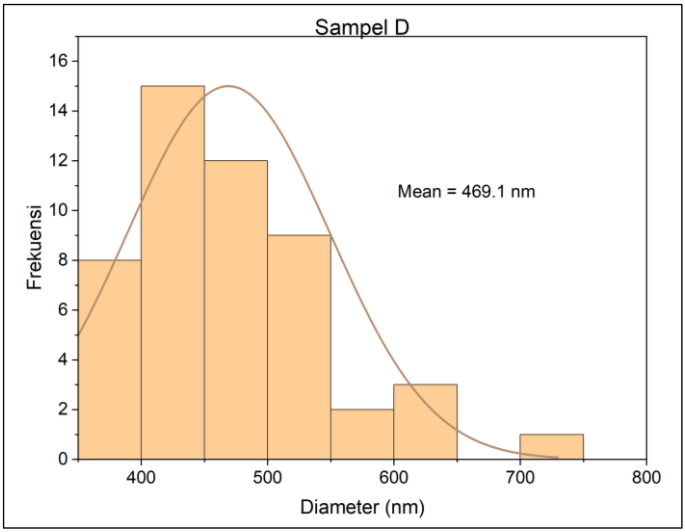
LAMPIRAN II



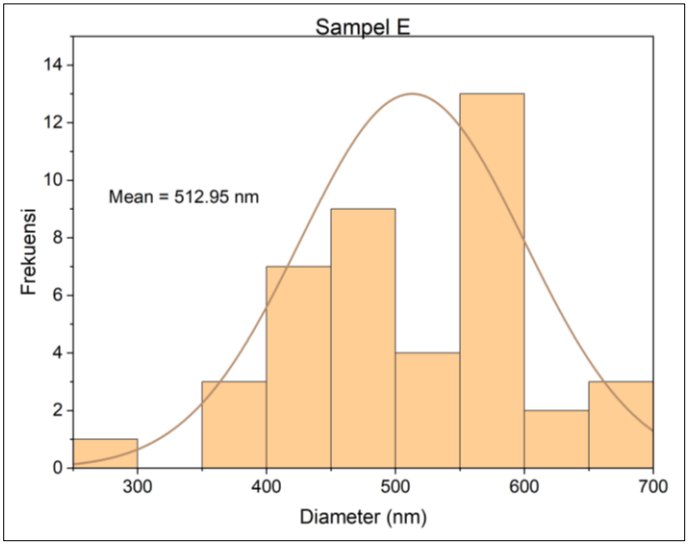
Gambar II.1 Distribusi *nanofiber* PVA/TiO_2 sampel B



Gambar II.2 Distribusi *nanofiber* PVA/TiO_2 sampel C



Gambar II.3 Distribusi *nanofiber* PVA/TiO_2 sampel D



Gambar II.4 Distribusi *nanofiber* PVA/TiO_2 sampel E

BIODATA PENULIS

Nama lengkap penulis yaitu Bagus Hermawan, dengan nama panggilan Bagus. Penulis dilahirkan di Blitar pada tanggal 5 Agustus 1998. Penulis merupakan anak dari pasangan Sukirno dan Sunanik, anak kedua dari tiga bersaudara. Riwayat pendidikan penulis yaitu TK Aisyah Bustanul Athfal lulus pada tahun 2004, MI Roudlotun Nasyi'in lulus pada tahun 2010, MTsN 2 Kota Blitar lulus pada tahun 2013, SMAN 2 Kota Blitar lulus pada tahun 2016, dan diterima di ITS Surabaya pada tahun 2016 di Departeman Fisika. Penulis mengambil bidang minat Instrumentasi Elektronika. Pengalaman semasa kuliah yaitu Asisten Laboratorium Fisika 1, Asisten Laboratorium Fisika Moden dan Gelombang, serta Asisten Dosen Fisika 1. Selain itu penulis juga pernah mengemban amanah dalam bidang organisasi yaitu Kepala Departemen Ukhuwah Usaha Fosif ITS, Kabiro Sosmas Himasika ITS, dan Kepala Divisi Sosmas Bidikmisi ITS. Penulis juga pernah menjadi semifinalis lomba LKTI FEMI UNJ 2018 dan mendapat undangan mengikuti ARCHIMEDES 2020 di Moscow.

hermawanbagus11@gmail.com