



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI SENSOR GAS BERBASIS *SURFACE ACOUSTIC WAVE*
UNTUK PENERAPAN PADA SISTEM IDENTIFIKASI GAS**

SKRIPSI

ANDREW OKTORIZAL

0806365362

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI SENSOR GAS BERBASIS *SURFACE ACOUSTIC WAVE*
UNTUK PENERAPAN PADA SISTEM IDENTIFIKASI GAS**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

ANDREW OKTORIZAL

0806365362

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Andrew Oktorizal

NPM : 0806365362

Tanda Tangan :

Tanggal : 3 Januari 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Andrew Oktorizal
NPM : 0806365362
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Studi Sensor Gas Berbasis *Surface Acoustic Wave* untuk Penerapan pada Sistem Identifikasi Gas

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : **Prof. Dr. Ir. Djoko Hartanto, M.Sc.**

Penguji : **Prof. Dr. Ir. Nji Raden Poespawati, MT.**

Penguji : **Ir. Purnomo Sidi Priambodo, M.Sc, Ph.D.**

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 3 Januari 2011

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji serta syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas segala rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan atas skripsi yang berjudul **Studi Sensor Gas Berbasis *Surface Acoustic Wave* untuk Penerapan pada Sistem Identifikasi Gas.**

Laporan ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana (S1) Teknik di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Penyusunan skripsi ini tidak terlepas atas bantuan serta dukungan banyak pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Prof. Dr. Ir. Djoko Hartanto M.Sc. Selaku pembimbing yang telah menentukan dan menyetujui judul riset ini sebagai bagian dari riset pada *Sensor Devices Research Group* (SDSG), bersedia meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan petunjuk dan saran dalam menyelesaikan riset ini;
- (2) kedua orang tua tercinta atas doa dan dorongan semangat yang begitu besar serta kedua adikku atas dukungan yang diberikan selama masa kuliah maupun pada saat penyelesaian skripsi ini;
- (3) rekan seperjuangan penulis, diantaranya Fery Sumardi, Muhammad Wahyu, Haris Murpy Hadi, Helly Andri, dan Setiadi, atas bantuan dan dukungan yang selalu penulis terima baik selama kegiatan kuliah berlangsung maupun pada saat penyelesaian skripsi ini.

Serta seluruh pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu dalam halaman yang singkat ini. Penulis berharap semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah membantu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat

membangun dari berbagai pihak demi kelengkapan dan penyempurnaan laporan skripsi ini.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Jakarta, 17 Desember 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andrew Oktorizal
NPM : 0806365362
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**STUDI SENSOR GAS BERBASIS *SURFACE ACOUSTIC WAVE*
UNTUK PENERAPAN PADA SISTEM IDENTIFIKASI GAS**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 3 Januari 2011

Yang menyatakan

(Andrew Oktorizal)

ABSTRAK

Nama : Andrew Oktorizal
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Studi Sensor Gas Berbasis *Surface Acoustic Wave* untuk Penerapan pada Sistem Identifikasi Gas

Perangkat *surface acoustic wave* telah secara komersial digunakan selama lebih dari 60 tahun. Salah satu pengguna terbanyak dari teknologi ini adalah industri telekomunikasi. Perangkat *surface acoustic wave* juga memiliki pemanfaatan yang cukup luas. Selain digunakan di industri telekomunikasi, perangkat ini juga mulai banyak digunakan sebagai sensor pada pemantauan lingkungan, proses pengendalian reaksi di industri kimia, maupun analisis di bidang medis. Keunggulan dari pemanfaatan perangkat ini sebagai sensor adalah output yang dihasilkan tidak terpengaruh oleh interferensi listrik selain itu, sensor ini memiliki sensitivitas yang tinggi yang merupakan prasyarat utama untuk penentuan senyawa gas dalam konsentrasi yang rendah, sehingga hal ini membuat sensor berbasis *surface acoustic wave* sangat menarik bagi industri kimia.

Berangkat dari latar belakang tersebut, penulis menyusun skripsi yang berjudul Studi Sensor Gas Berbasis *Surface Acoustic Wave* untuk Penerapan pada Sistem Identifikasi Gas. Dalam skripsi ini, yang menjadi focus utama penulis adalah terhadap sensor yang digunakan, yaitu sensor gas berbasis *surface acoustic wave*. Oleh karena itu, akan dibahas secara terperinci mengenai prinsip kerja dari sensor tersebut, proses pembuatan sensor menggunakan metoda upper inter digital transducer, selain itu juga dibahas mengenai aplikasinya pada sistem identifikasi gas dan inovasi dari sensor yaitu ketika sensor tersebut dibuat dalam suatu bahan berbentuk bola.

Hasil dari studi yang dilakukan penulis dapat disimpulkan bahwa prinsip kerja dari sensor gas berbasis *surface acoustic wave* adalah dengan memanfaatkan perubahan frekuensi resonansi yang merambat ketika suatu gas lain mengenai thin film yang terletak diantara *inter digital transducer* (IDT). Selain itu simulasi pengujian dilakukan terhadap gas yang dihasilkan oleh solar, pertamax, dan ethanol. Hasil simulasi percobaan menunjukkan solar memiliki pergeseran frekuensi yang lebih kecil (5000 – 7000 kHz) dibandingkan dengan pertamax (13000 – 15000 kHz) dan ethanol (33000 – 35000 kHz). Selain itu, karena solar memiliki pergeseran frekuensi yang paling kecil tersebut, respon waktu hingga diperoleh kondisi steady menjadi lebih cepat, kurang lebih 10 detik dibandingkan dengan pertamax yang mencapai 12 detik dan ethanol yang mencapai 25 detik.

Kata Kunci : Studi Sensor Gas Berbasis *Surface Acoustic Wave* untuk Penerapan pada Sistem Identifikasi Gas

ABSTRACT

Name : Andrew Oktorizal
Majoring in : Electro Engineering
Title : Study of Gas Sensors Based on Surface Acoustic Wave for Application in Identification System Gases

Surface acoustic wave devices have been commercially used for more than 60 years. One of the largest users of this technology is the telecommunication industry. Surface acoustic wave devices also have a wide utilization. Besides being used in the telecommunications industry, the device also been widely used as sensors in environmental monitoring, process control in industrial chemical reactions, and analysis in the medical field. The advantage of using this device as sensor is the output produced is not affected by electrical interference in addition, this sensor has high sensitivity which is the main prerequisite for the determination of gas compounds in low concentrations, so this makes surface acoustic wave based sensors are very attractive for chemical industry.

Referring to the background, the authors compile this thesis entitled Study of Gas Sensors Based on Surface Acoustic Wave for Application in Identification System Gases. In this thesis, the main focus of the author is the sensors used, which is the gas sensors based on surface acoustic wave. Therefore, it will be discussed in detail about the working principle of the sensor, manufacturing process of the sensor using the upper inter-digital transducer method. This thesis also discusses about the application of the sensor in identification systems gases and the innovations of gas sensor, when the sensor was made in a spherical material.

Results from studies conducted by authors concluded that the working principle of the gas sensors based on surface acoustic wave is to utilize the resonant frequency changes which propagates on thin film located between the inter digital transducer (IDT) due to a gas that crept to the film. In addition, simulation tests conducted on gas produced by solar, pertamax, and ethanol. The simulation results showed that diesel has a smaller frequency shift (5000 - 7000 kHz) compared with pertamax (13000-15000 kHz) and ethanol (33000-35000 kHz). In addition, since diesel has the smallest frequency shift, the response time to achieve the steady state becomes faster, about 10 seconds compared with pertamax who reach 12 seconds and ethanol up to 25 seconds.

Key Words : Study of Gas Sensors Based on Surface Acoustic Wave for Application in Identification System Gases

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH | vi |
| ABSTRAK | vii |
| ABSTRACT | viii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR TABEL | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR PERSAMAAN | xiv |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Identifikasi Masalah | 3 |
| 1.3 Pembatasan Masalah | 3 |
| 1.4 Perumusan Masalah | 3 |
| 1.5 Tujuan | 4 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 4 |
| BAB 2 KAJIAN TEORITIS | 5 |
| 2.1 Bahan Bakar | 5 |
| 2.1.1 Premium | 6 |
| 2.1.2 Minyak Tanah | 6 |
| 2.1.3 LPG | 6 |
| 2.2 Definisi Sensor dan Transduser | 7 |
| 2.3 Persyaratan Sensor dan Transduser | 8 |
| 2.4 Klasifikasi Sensor dan Transduser | 15 |
| 2.4.1 Klasifikasi Sensor | 15 |
| 2.4.2 Klasifikasi Transduser | 16 |
| 2.5 Sensor Gas Tipe Semikonduktor | 18 |
| 2.5.1 Prinsip Kerja Sensor Gas Tipe Semikonduktor | 18 |
| 2.5.2 Karakteristik Sensor Gas Tipe Semikonduktor | 20 |
| 2.5.2.1 Pengaruh Tekanan Parsial Oksigen | 20 |
| 2.5.2.2 Sensitivitas Terhadap Gas | 20 |
| 2.5.2.3 Respon Sensor | 21 |
| 2.5.2.4 Aksi Awal | 22 |
| 2.5.2.5 Pengaruh Temperatur dan Kelembaban | 23 |
| 2.5.2.6 Kestabilan Jangka Waktu Lama | 24 |
| 2.6 Sensor Gas Berbasis <i>Surface Acoustic Wave</i> | 24 |
| BAB 3 PERANCANGAN DAN PEMBACAAN SENSOR | 28 |
| 3.1 Perancangan Sistem Identifikasi Gas | 28 |
| 3.2 Perancangan Sensor Gas Berbasis <i>Surface Acoustic Wave</i> | 29 |
| 3.3 Perancangan Rangkaian Pencampur (<i>Mixer</i>) Frekuensi | 32 |
| 3.4 Perancangan Rangkaian Pencacah Frekuensi (Frequency Counter) | 32 |
| 3.5 Perancangan Sistem Minimum Microcontroller | 33 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 3.6 | Perancangan Perangkat Lunak Pengendali Microcontroller | 33 |
| 3.7 | Perancangan Perangkat Lunak di PC untuk Menganalisa Data | 34 |
| 3.8 | Cara Kerja Sistem Identifikasi Gas | 35 |
| 3.9 | Perencanaan Pembuatan Simulasi Sistem Identifikasi Gas | 36 |
| BAB 4 | SIMULASI DAN ANALISIS | 38 |
| 4.1 | Analisis Terhadap Simulasi Proses dari Sistem Identifikasi Gas | 38 |
| 4.2 | Analisis Terhadap Simulasi Proses Fabrikasi <i>Inter Digital Transducer (IDT)</i> | 45 |
| 4.3 | Analisis Terhadap Simulasi Prinsip Kerja Sensor Gas Berbentuk Bola Berbasis <i>Surface Acoustic Wave</i> | 46 |
| BAB 5 | KESIMPULAN | 48 |

DAFTAR ACUAN

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabel 2.1 | Klasifikasi Transduser | 17 |
| Tabel 4.1 | Hasil Simulasi Pengujian Sistem Identifikasi Gas..... | 44 |



DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Kurva Ideal dan Sensitivitas Error | 9 |
| Gambar 2.2 | Kurva Karakteristik Elektroda pH tertentu menunjukkan Sensitivitas Temperatur..... | 11 |
| Gambar 2.3 | Kurva Ideal dibandingkan dengan Kurva Hasil Pengukuran Menunjukkan Linearitas Error..... | 12 |
| Gambar 2.4 | Kurva Hysteresis..... | 13 |
| Gambar 2.5a | Kurva Respon Waktu Pada Saat Naik | 14 |
| Gambar 2.5b | Kurva Respon Waktu Pada Saat Turun | 14 |
| Gambar 2.6 | Susunan Dasar Sensor Gas..... | 18 |
| Gambar 2.7 | Model Penghalang antar Butir pada Keadaan Tanpa Gas yang Dideteksi | 19 |
| Gambar 2.8 | Model Penghalang Potensial Antar Butir Dalam Lingkungan Gas | 19 |
| Gambar 2.9 | Pengaruh Tekanan Parsial Gas Oksigen (PO ₂) pada Resistansi Sensor | 20 |
| Gambar 2.10 | Karakteristik Sensitivitas Sensor Tertentu Terhadap Berbagai Gas..... | 21 |
| Gambar 2.11 | Contoh Respon Sensor | 22 |
| Gambar 2.12 | Contoh Aksi Awal..... | 23 |
| Gambar 2.13 | Contoh Pengaruh Temperatur dan Kelembaban | 23 |
| Gambar 2.14 | Contoh Kestabilan Sensor Jangka Waktu Lama | 24 |
| Gambar 2.15 | Skema Transduser SAW | 26 |
| Gambar 2.16 | Rangkaian Osilator Sensor..... | 26 |
| Gambar 3.1 | Blok Diagram Sistem Identifikasi Gas..... | 28 |
| Gambar 3.2 | Proses Awal Merancang IDT | 29 |
| Gambar 3.3 | Proses Kedua Merancang IDT | 29 |
| Gambar 3.4 | Proses Ketiga Merancang IDT | 30 |
| Gambar 3.5 | Proses Keempat Merancang IDT | 30 |
| Gambar 3.6 | Blok Diagram Sensor Gas Berbasis Surface Acoustic Wave | 31 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 3.7 | Blok Diagram Rangkaian Pencacah Frekuensi | 32 |
| Gambar 3.8 | Diagram Alir Perangkat Lunak Pengendali <i>Microcontroller</i> | 34 |
| Gambar 4.1 | Model Simulasi Sistem Identifikasi Gas | 40 |
| Gambar 4.2 | Simulasi Pembacaan Sensor Terhadap Sampel Solar | 41 |
| Gambar 4.3 | Respon Pembacaan Sensor Terhadap Solar | 41 |
| Gambar 4.4 | Simulasi Pembacaan Sensor Terhadap Sampel Pertamina | 42 |
| Gambar 4.5 | Respon Pembacaan Sensor Terhadap Pertamina | 42 |
| Gambar 4.6 | Simulasi Pembacaan Sensor Terhadap Sampel Ethanol | 43 |
| Gambar 4.7 | Respon Pembacaan Sensor Terhadap Ethanol | 44 |
| Gambar 4.8 | Simulasi Proses Fabrikasi <i>Inter Digital</i> <i>Transducer (IDT)</i> | 46 |
| Gambar 4.9 | Prinsip Kerja Sensor Gas Berbentuk Bola Berbasis SAW | 47 |
| Gambar 4.10 | Simulasi dari Prinsip Kerja Sensor Gas Berbentuk Bola Berbasis SAW | 47 |

DAFTAR PERSAMAAN

| | |
|----------------------|----|
| Persamaan 2.1 | 10 |
| Persamaan 2.2 | 11 |
| Persamaan 2.3 | 14 |
| Persamaan 2.4 | 20 |
| Persamaan 2.5 | 27 |
| Persamaan 2.6 | 27 |
| Persamaan 2.7 | 27 |
| Persamaan 2.8 | 27 |
| Persamaan 2.9 | 27 |
| Persamaan 2.10 | 27 |
| Persamaan 2.11 | 27 |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin berkembangnya perekonomian suatu negara, akan mempengaruhi banyak aspek kehidupan lainnya. Salah satu hal yang paling terlihat adalah kegiatan sosial budaya dan mobilitas masyarakat yang semakin meningkat. Secara langsung hal tersebut menyebabkan kebutuhan akan ketersediaan pasokan energi juga akan semakin meningkat.

Hal tersebut dapat dilihat pada saat kondisi industri didalam negeri semakin membaik, dari sisi produktifitas maupun utilitasnya, secara langsung mengakibatkan kebutuhan energi yang semakin besar, terutama listrik sebagai penggerak mesin peralatan pabrik. Di sisi lain, banyaknya pembangkit listrik di Indonesia yang berbahan bakar minyak menyebabkan semakin tingginya kebutuhan pasokan akan bahan bakar tersebut.

Selain itu, dapat dilihat bahwa ketika daya beli masyarakat semakin meningkat, gaya hidup juga semakin berubah, mobilitas semakin tinggi, sehingga menyebabkan semakin besar kebutuhan akan pasokan bahan bakar minyak sebagai energi utama.

Disisi lain, kebijakan Pemerintah untuk tetap memacu pergerakan perekonomian dengan cara pemberian subsidi kepada sejumlah energi tertentu terutama bahan bakar minyak, semakin memberatkan beban anggaran negara yang harus ditanggung.

Salah satu langkah yang ditempuh Pemerintah adalah dengan meluncurkan program konversi bahan bakar minyak (Minyak Tanah) ke gas (LPG) pada akhir tahun 2008. Program ini diluncurkan untuk lebih menghemat beban subsidi pada anggaran negara, karena LPG lebih efisien penggunaannya dibandingkan dengan minyak tanah disamping itu biaya subsidi untuk LPG relatif lebih kecil. Pemerintah juga menjalankan program ini dengan pertimbangan bahwa program konversi ini dapat mengurangi penyalahgunaan minyak tanah bersubsidi dan untuk memberikan bahan bakar yang lebih praktis, bersih, dan efisien bagi rumah tangga dan usaha mikro.

Program konversi yang menelan biaya hingga 12 Triliun (untuk 3 tahun) ini memang sangat efektif untuk diterapkan bila melihat jumlah subsidi minyak tanah tiap tahunnya yang mencapai 31,58 Triliun, sehingga apabila ditarik rata-rata, maka selama 3 tahun akan terjadi penghematan anggaran negara sebesar 84 Triliun.

Program konversi yang rencananya akan berlangsung hingga tahun 2012 ini tidak serta merta berjalan mulus. Banyak hal terjadi, mulai dari kelangkaan bahan bakar tertentu akibat adanya ulah para pemanfaat kesempatan (spekulan) sampai dengan kasus kebocoran bahkan ledakan akibat kebocoran gas LPG tersebut.

Memang tidak mudah untuk menyediakan sejumlah besar peralatan masak (tabung-komporselang-regulator) dalam waktu yang singkat, sehingga kerap kali muncul permasalahan pada peralatan masak tersebut. Disamping itu sosialisasi yang kurang menjangkau masyarakat awam dengan teknologi yang baru bagi mereka semakin memperburuk kondisi yang telah terjadi.

Namun demikian, program konversi harus tetap berlanjut mengingat manfaat yang diperoleh dari penghematan anggaran negara cukup besar. Salah satu solusi yang saat ini ditawarkan untuk mengatasi salah satu kasus yang cukup menyita perhatian masyarakat perihal kebocoran dan ledakan gas tersebut adalah dengan peralatan detektor untuk mendeteksi adanya kebocoran gas.

Sebagaimana telah diketahui bahwa ledakan terjadi akibat adanya akumulasi gas karena kebocoran yang tidak diketahui oleh pengguna. Hal ini karena gas LPG memiliki sifat yang lebih berat daripada gas lainnya, sehingga pada saat terjadi kebocoran, gas LPG akan terakumulasi dibawah dan tidak diketahui oleh pengguna. Pengguna baru dapat mengetahui adanya kebocoran setelah akumulasi gas mencapai batas ketinggian penciuman mereka.

Detektor gas yang ditawarkan cukup banyak jenisnya dari berbagai merek. Ada yang dilengkapi dengan indikator berupa lampu maupun buzzer. Namun yang terutama dari detektor tersebut adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi gas LPG tersebut. Seberapa sensitif sensor mampu mendeteksi adanya kebocoran tersebut, hal ini terutama dikaitkan apabila detektor tersebut digunakan secara profesional dalam sebuah bangunan atau gedung.

Keandalan dari sensor tersebut menjadi fokus utama dari pemilihan detektor kebocoran gas. Untuk itu diperlukan suatu kajian terhadap karakteristik, kelayakan, kemampuan, dan keunggulan dari sensor yang digunakan.

Sensor gas berbasis *surface acoustic wave* adalah salah satu jenis sensor gas yang dapat digunakan untuk mendeteksi gas disekitarnya. Kemampuannya untuk mendeteksi gas menjadi salah satu bahasan utama dalam setiap jurnal maupun seminar ilmiah.

Atas dasar pemikiran tersebut diatas skripsi ini berupa “Studi Sensor Gas berbasis Surface Acoustic Wave untuk Penerapan pada Sistem Identifikasi Gas”.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan, dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut :

- Perlunya identifikasi atas karakteristik kerja, mekanisme kerja, kemampuan dan inovasi/pengembangan dari sensor gas.
- Perlunya identifikasi atas prinsip kerja *input interdigital transducer system*.

1.3 Pembatasan Masalah

Identifikasi atas karakteristik kerja, mekanisme kerja, kemampuan, maupun pengembangan sensor gas terbatas pada sensor gas berbasis *surface acoustic wave*. Identifikasi dilakukan dengan melakukan studi dan simulasi dari karakteristik kerja sensor gas tersebut.

Inovasi/pengembangan yang dimaksud adalah pengembangan sensor gas berbasis *surface acoustic wave* dimana gelombang didesain sedemikian rupa, sehingga berputar dipermukaan seperti bentuk bola.

1.4 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah, dan pembatasan masalah, maka dapat dirumuskan permasalahan, yaitu :

- Bagaimana karakteristik kerja, mekanisme kerja, kemampuan dari sensor gas berbasis *surface acoustic wave*.
- Bagaimana prinsip kerja dari *input interdigital transducer system*.

- Bagaimana pengaruh atas inovasi/pengembangan dari sensor gas berbasis *surface acoustic wave* yang didesain sehingga gelombang berputar dipermukaan seperti bentuk bola.

1.5 Tujuan

Secara umum, tujuan dari skripsi ini adalah untuk mengetahui karakteristik kerja, mekanisme kerja, dan kemampuan dari sensor gas berbasis *surface acoustic wave* beserta pengaruh dari inovasi/pengembangan sensor tersebut.

1.6 Sistematika Penulisan

Bab 1 (satu) meliputi latar belakang, identifikasi masalah, batasan masalah, perumusan masalah, dan sistematika penulisan. Bab 2 (dua) menjelaskan mengenai sensor secara umum, klasifikasi sensor, hingga sensor gas. Bab 3 (tiga) menjelaskan mengenai sensor gas berbasis *surface acoustic wave*, mulai dari identifikasi karakteristik kerja, mekanisme kerja, dan kemampuan kerjanya. Disamping itu, inovasi/pengembangan dari sensor gas berbasis *surface acoustic wave* yang didesain, sehingga gelombang akan berputar dipermukaan seperti bentuk bola. Bab 4 (empat) menjelaskan mengenai hasil kajian simulasi dari karakteristik kerja dan mekanisme kerja dari sensor gas berbasis *surface acoustic wave* yang didesain normal dengan sensor gas berbasis *surface acoustic wave* yang diinovasi sehingga desain gelombang permukaan berjalan melingkar. Bab 5 (lima) menjelaskan mengenai kesimpulan dari skripsi.

BAB 2

KAJIAN TEORITIS

2.1 Bahan Bakar

Bahan bakar adalah bahan yang apabila dibakar dapat meneruskan proses pembakaran dengan sendirinya, disertai dengan pengeluaran kalor. Bahan bakar dapat terbakar dengan sendirinya, karena kalor dari proses pembakaran lebih besar dari kalor yang dihasilkan oleh sumber kalor itu sendiri.

Berdasarkan macamnya, bahan bakar dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis, yaitu sebagai berikut:

1. Bahan Bakar Organik, tersusun dari unsur-unsur karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, phosphor, dan lain-lain dalam jumlah kecil. Namun yang berperan sebagai bahan bakar adalah unsur karbon, hidrogen dan sulfur.

Bahan bakar ini terdiri atas:

- a. Bahan bakar yang berasal dari fosil, misalnya : batubara, minyak bumi, dan gas bumi.
 - b. Bahan bakar yang berasal dari sisa tumbuhan, minyak nabati, dan minyak hewan.
2. Bahan Bakar Nuklir, misal : uranium dan plutonium

Kalor dihasilkan dari reaksi rantai penguraian atom-atom melalui peristiwa radioaktif.

Berdasarkan wujudnya, bahan bakar dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis, yaitu sebagai berikut:

- a) bahan bakar padat,
- b) bahan bakar cair,
- c) bahan bakar gas.

Berdasarkan proses terbentuknya, bahan bakar dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis, yaitu sebagai berikut:

- a) bahan bakar yang terbentuk melalui proses alamiah,
- b) bahan bakar yang terbentuk melalui proses non-alamiah.

2.1.1 Premium

Premium terdiri atas senyawa-senyawa hidrokarbon dengan 5 sampai 10 atom karbon yang diperoleh dari minyak bumi. Sebagian diperoleh langsung dari hasil penyulingan bertingkat minyak bumi (fraksi dengan titik didih berkisar 30°C – 200°C). Sebagian besar lagi berasal dari hasil proses pada kilang minyak yang mengubah fraksi yang lebih ringan dan yang lebih berat dari premium menjadi premium dengan reaksi reformasi.

Premium digunakan sebagai bahan bakar mesin-mesin yang dirancang khusus menggunakan bahan bakar premium. Premium yang baik dengan sifat anti ketukan, terdiri atas senyawa-senyawa hidrokarbon yang :

- a) memiliki berat molekul yang relative rendah ($\text{C}_5 - \text{C}_{10}$),
- b) memiliki rantai karbon yang bercabang, dan
- c) memiliki ikatan-ikatan tak jenuh, siklik, dan terutama aromatik.

Kemampuan premium terbakar tanpa ketukan ditunjukkan dengan bilangan oktannya. Rentang nilai oktan adalah 0 sampai dengan 100, dengan normal heptane diberi nilai 0 dan 2,2,4-trimetil pentana (isooktana) bernilai 100. Suatu contoh, bila suatu bahan bakar premium memiliki sifat bakar seperti yang ditunjukkan campuran 88% volume isooktana dengan 12% volume normal heptane, maka premium itu bernilai oktan 88.

2.1.2 Minyak Tanah

Minyak tanah adalah fraksi minyak bumi ($\text{C}_{11}\text{-C}_{14}$) dengan titik didih berkisar antara 175°C – 300°C . Umumnya dipakan sebagai bahan bakar untuk memasak.

2.1.3 LPG

Liquified Petroleum Gas (LPG) merupakan gas hasil produksi dari kilang minyak (Kilang BBM) dan Kilang gas, yang komponen utamanya adalah gas propane (C_3H_8) dan butane (C_4H_{10}) dengan komposisi kurang lebih hampir 99% dan selebihnya adalah zat pembau.

LPG lebih berat dari udara dengan berat jenis sekitar 2,01 (dibandingkan dengan berat jenis udara). Perbandingan komposisi propana (C_3H_8) terhadap butana (C_4H_{10}) adalah 30:70.

Zat mercaptan biasa ditambahkan kepada LPG untuk memberikan bau yang khas, sehingga kebocoran gas dapat dideteksi dengan cepat.

2.2 Definisi Sensor dan Transduser

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dari masa ke masa berkembang cepat terutama dibidang otomasi industri. Perkembangan ini tampak jelas di bidang industri fabrikasi/perakitan, dimana sebelumnya banyak pekerjaan menggunakan tangan manusia, kemudian beralih menggunakan mesin, berikutnya dengan *electro-mechanic* (semi otomatis) dan sekarang sudah menggunakan robotic (*full automatic*) seperti penggunaan *Flexible Manufacturing Systems (FMS)* dan *Computerized Integrated Manufacture (CIM)* dan sebagainya.

Model apapun yang digunakan dalam sistem otomasi di industri fabrikasi/perakitan sangat bergantung kepada keandalan sistem kendali yang dipakai. Namun demikian, secanggih apapun sistem kendali yang dipakai akan sangat bergantung kepada sensor maupun transduser yang digunakan.

Sensor dan transduser merupakan peralatan atau komponen yang mempunyai peranan penting dalam sebuah sistem pengaturan otomatis. Ketepatan dan kesesuaian dalam memilih sebuah sensor akan sangat menentukan kinerja dari sistem pengaturan secara otomatis.

Besaran input pada kebanyakan sistem kendali bukan merupakan besaran listrik, seperti besaran fisika, kimia, mekanis dan sebagainya. Untuk menggunakan besaran listrik pada sistem pengukuran, atau sistem *engineering* atau sistem pengontrolan, maka biasanya besaran bukan listrik tersebut diubah terlebih dahulu menjadi suatu sinyal listrik melalui sebuah alat yang disebut transduser.

Sensor adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk mendeteksi gejala-gejala atau sinyal-sinyal yang berasal dari perubahan suatu energi seperti energi listrik, energi fisika, energi kimia, energi biologi, energi mekanik dan sebagainya. Contoh; Kamera sebagai sensor penglihatan, telinga sebagai sensor pendengaran, kulit sebagai sensor peraba, LDR (*light dependent resistance*) sebagai sensor cahaya, dan lainnya.

Transduser adalah sebuah alat yang bila digerakan oleh suatu energi di dalam sebuah sistem transmisi, akan menyalurkan energi tersebut dalam bentuk yang sama atau dalam bentuk yang berlainan ke sistem transmisi berikutnya. Transmisi energi ini bisa berupa listrik, mekanik, kimia, optik (radiasi) atau *thermal* (panas).

Contoh; generator adalah transduser yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, motor adalah transduser yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, dan sebagainya.

Alat ukur adalah sesuatu alat yang berfungsi memberikan batasan nilai atau harga tertentu dari gejala-gejala atau sinyal yang berasal dari perubahan suatu energi.

Contoh: voltmeter, ampermeter untuk sinyal listrik; tachometer, speedometer untuk kecepatan gerak mekanik, lux-meter untuk intensitas cahaya, dan sebagainya.

2.3 Persyaratan Sensor dan Transduser

Dalam memilih peralatan sensor dan transduser yang tepat dan sesuai dengan sistem yang akan disensor maka perlu diperhatikan persyaratan umum sensor dibawah ini.

a. Sensitivitas

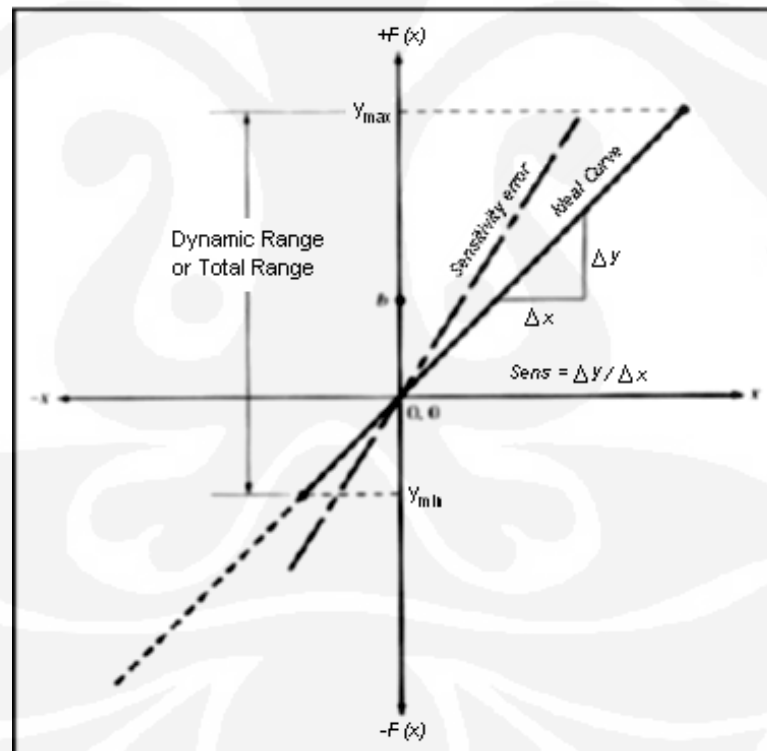
Sensitivitas sensor didefinisikan sebagai kemiringan kurva karakteristik output (DY /DX pada Gambar 2.1) atau, lebih umum, input minimum parameter fisik sehingga menyebabkan perubahan pada output yang dapat terdeteksi. Dalam beberapa sensor, sensitivitas didefinisikan sebagai besar perubahan parameter input yang diperlukan untuk menghasilkan suatu perubahan *output* yang terstandarisasi. Selain itu, sensitivitas dapat didefinisikan sebagai suatu perubahan tegangan output untuk suatu perubahan yang diberikan pada parameter input.

Sebagai contoh, suatu transduser tekanan darah tertentu memiliki tingkat sensitivitas 10 mV/V/mmHg; artinya akan terdapat tegangan *output* sebesar 10 mV untuk setiap tegangan yang diberikan dan setiap mmHg tekanan yang diterapkan.

Sensitivitas error (sebagaimana ditunjukkan sebagai garis putus-putus pada Gambar 2.1) adalah sebuah garis yang menjauh dari garis kemiringan ideal pada kurva karakteristik. Sebagai contoh, transduser tekanan yang dibahas diatas memiliki sensitivitas sebenarnya sebesar 7,8 mV/V/mmHg, bukan 10 mV/V/mmHg.

b. Rentang (*range*)

Rentang (*range*) sensor adalah nilai maksimum dan nilai minimum dari suatu parameter terukur yang diberikan. Misalnya, sensor tekanan memiliki berbagai rentang mulai dari -400 sampai dengan 400 mmHg, atau dapat juga rentang positif dan negatifnya memiliki nilai yang tidak sama. Sebagai contoh, sebuah transduser tekanan darah medis ditentukan memiliki batas minimum (dalam keadaan *vacuum*) sebesar -50 mmHg (Y_{\min} pada Gambar 2.1) dan batas maksimumnya sebesar 450 mmHg (Y_{\max} pada Gambar 2.1)



Gambar 2.1 Kurva Ideal dan Sensitivitas Error [1]

c. Rentang (*range*) dinamis

Rentang (*range*) dinamis adalah rentang total dari sensor pada pembacaan minimum ke maksimum. Pada Gambar 2.1, rentang dinamis adalah :

$$R_{\text{dyn}} = Y_{\text{max}} - |-Y_{\text{min}}| \dots\dots\dots 2.1$$

d. Ketelitian (*precision*)

Konsep presisi mengacu kepada tingkat menghasilkan pengulangan yang sama pada setiap pengukuran. Dengan kata lain, jika suatu nilai *input* yang sama dan diukur beberapa kali, maka sensor yang ideal akan menghasilkan nilai *output* yang sama di setiap waktu, tetapi kenyataannya nilai *output* sensor memiliki rentang nilai yang didistribusikan dalam beberapa cara terhadap nilai yang sebenarnya. Misalnya, tekanan 150 mmHg tepat diterapkan pada sensor. Bahkan jika tekanan yang diterapkan tersebut tidak pernah berubah, nilai pembacaan *output* sensor akan sangat bervariasi.

e. Resolusi

Resolusi adalah perubahan terkecil dari *input* yang masih dapat terdeteksi dalam sinyal *output*. Resolusi dapat dinyatakan baik sebagai proporsi membaca (pembacaan skala penuh) ataupun secara absolut.

f. Ketepatan (*accuracy*)

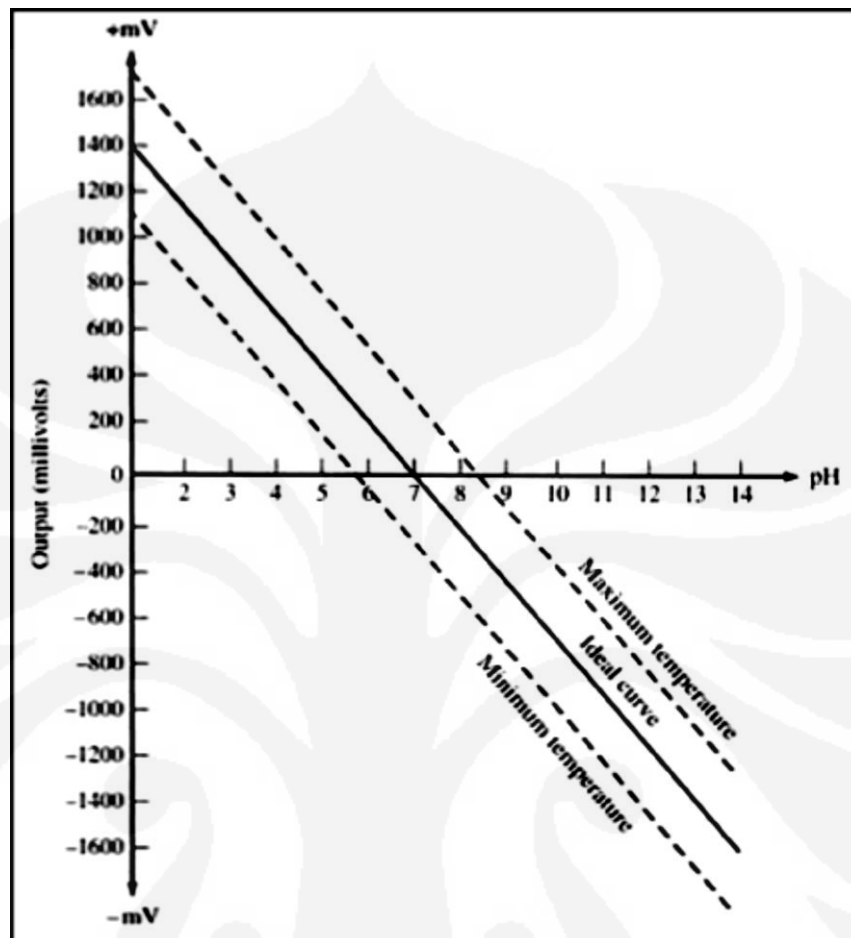
Ketepatan sensor adalah perbedaan maksimum yang akan terjadi antara nilai aktual (nilai yang terukur oleh standar primer atau sekunder yang baik) dengan nilai yang ditunjukkan pada *output* sensor. Ketepatan sensor dapat juga dinyatakan baik sebagai persentase dari skala penuh atau secara absolut.

g. *Offset*

Kesalahan *offset* dari sebuah transduser didefinisikan sebagai nilai *output* yang masih tetap ada ketika seharusnya nilai tersebut sama dengan nol, atau dengan kata lain, perbedaan antara nilai *output* sebenarnya yang terbaca dengan nilai *output* yang telah ditentukan pada suatu kondisi tertentu. Sebagai contoh, kondisi ini terjadi apabila terdapat kurva karakteristik seperti pada Gambar 2.1 yang memiliki kemiringan sensitivitas yang sama, seperti kondisi ideal, tetapi memotong sumbu Y (*output*) pada titik b bukan sama dengan nol.

Contoh bentuk lain dari *offset* dapat dilihat pada Gambar 2.2. Kurva ideal hanya akan berada di suatu suhu (biasanya 25°C), sedangkan kurva

sebenarnya akan berada diantara batas suhu minimum dan maksimum tergantung pada suhu sampel dan elektrodanya.



Gambar 2.2 Kurva Karakteristik Elektroda pH tertentu menunjukkan Sensitivitas Temperatur [1]

h. Linearitas

Linearitas sebuah transduser menyatakan sejauh mana kurva hasil pengukuran dari sensor menyimpang dari kurva ideal. Gambar 2.3 menunjukkan hubungan antara garis ideal dengan garis aktual hasil pengukuran atau kalibrasi. Linearitas sering kali dinyatakan sebagai persentase non linearitas, yaitu :

$$\text{Non linearitas \%} = \frac{D_{in\ max}}{IN_{f.s.}} \times 100 \dots\dots\dots 2.2$$

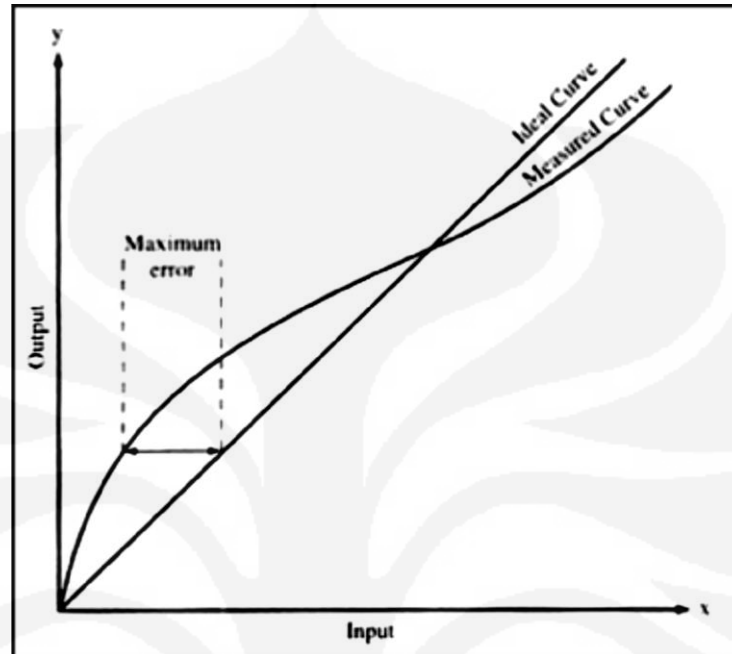
dengan,

Nonlinearitas (%) adalah persentase non linear

$D_{in(max)}$ adalah penyimpangan input maksimum

$IN_{f.s.}$ adalah input maksimum skala penuh

Ketidaklinearan statis yang didefinisikan sebagaimana persamaan 2.2 dipengaruhi oleh faktor lingkungan, termasuk suhu, getaran, tingkat kebisingan akustik, dan kelembaban.

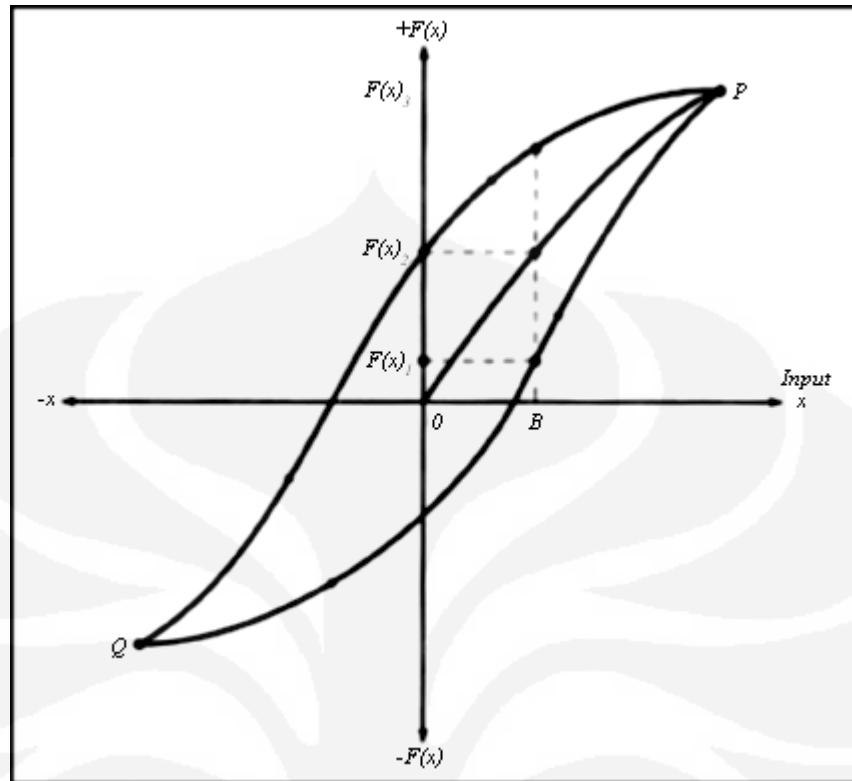


Gambar 2.3 Kurva Ideal dibandingkan dengan Kurva Hasil Pengukuran Menunjukkan Linearitas Error [1]

i. Hysterisis

Sebuah transduser harus mampu mengikuti perubahan parameter masukan terlepas dari arah mana perubahan dibuat, hysteresis adalah suatu ukuran untuk parameter ini. Gambar 2.4 menunjukkan kurva hysteresis tertentu. Dalam kurva terlihat bahwa arah perubahan menjadi penting dan menentukan besaran perubahan output. Sebagai contoh, mendekati nilai input tetap (titik B pada Gambar 2.4) dari nilai yang lebih tinggi (titik P) akan menghasilkan indikasi yang berbeda apabila mendekati nilai input yang sama (titik B) dari nilai yang lebih rendah (titik Q atau nol).

Dengan demikian nilai B dapat diwakili oleh $F(x)_1$, $F(x)_2$, atau $F(x)_3$ tergantung dari nilai sebelumnya.

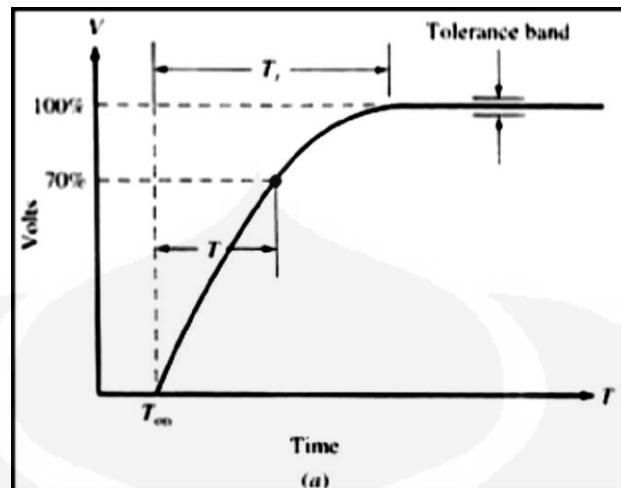


Gambar 2.4 Kurva Hysterisis [1]

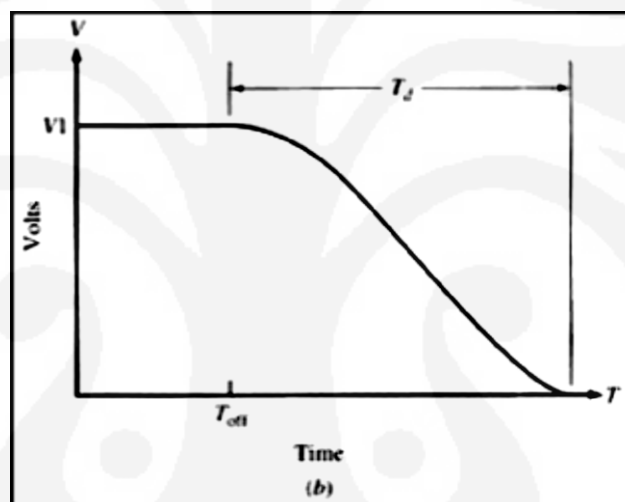
j. Respon Waktu

Sensor tidak mengubah keadaan output segera setelah terjadi perubahan parameter input. Sebaliknya, sensor akan berubah ke kondisi baru setelah melalui jangka waktu tertentu, yang disebut respon waktu (T_r pada Gambar 2.5). Respon waktu dapat didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan oleh output sensor untuk mengubah dari nilai kondisi sebelumnya ke nilai yang dihasilkan suatu pengukuran terakhir dalam suatu rentang toleransi dari nilai yang benar.

Respon waktu berbeda dengan waktu konstan (T) dari sistem. Kurva pada Gambar 2.5 menunjukkan dua jenis respon waktu.



Gambar 2.5a Kurva Respon Waktu Pada Saat Naik [1]



Gambar 2.5b Kurva Respon Waktu Pada Saat Turun [1]

k. Linearitas Dinamis

Linearitas dinamis sensor adalah ukuran kemampuan sensor untuk mengikuti perubahan yang cepat pada parameter *input*. Karakteristik distorsi amplitude, karakteristik distorsi fasa, dan respon waktu sangat penting untuk menentukan linearitas dinamis. Pada saat *system hysteresis* rendah, respon amplituda direpresentasikan sebagai:

$$F X = aX + bX^2 + cX^3 + dX^4 + \dots + K \dots \dots \dots 2.3$$

Dalam Persamaan 2.3, istilah $F(X)$ adalah sinyal keluaran, sedangkan istilah X merupakan parameter masukan dan harmoniknya, dan K merupakan *offset* konstan (jika ada).

2.4 Klasifikasi Sensor dan Transduser

2.4.1 Klasifikasi Sensor

Jenis sensor secara garis besar bisa dibagi menjadi 2 jenis, yaitu :

- 1) sensor fisika,
- 2) sensor kimia.

Sensor fisika adalah sensor yang mendeteksi suatu besaran berdasarkan hukum-hukum fisika. Yang termasuk kedalam jenis sensor fisika diantaranya disebutkan dibawah ini.

a. Sensor cahaya,

Sensor cahaya adalah sensor yang cara kerjanya merubah besaran cahaya menjadi besaran listrik. Komponen yang termasuk sensor cahaya disebutkan dibawah ini.

- i. LDR (*Light Dependent Resistor*), adalah sebuah resistor dimana nilai resistansinya akan berubah jika dikenai cahaya.
- ii. Photodiode, adalah sebuah diode yang apabila dikenai cahaya akan memancarkan electron sehingga akan mengalirkan arus listrik.
- iii. Phototransistor, adalah sebuah transistor yang apabila dikenai cahaya akan mengalirkan elektron, sehingga akan terjadi penguatan arus seperti pada sebuah transistor.
- iv. *Optocoupler*, adalah sebuah komponen kopling berbasis optik.

b. Sensor suara,

Sensor suara adalah sensor yang cara kerjanya yaitu merubah besaran suara menjadi besaran listrik. Komponen yang termasuk sensor suara, yaitu *microphone*. *Microphone* adalah komponen elektronika dimana cara kerjanya yaitu membran yang digetarkan oleh gelombang suara akan menghasilkan sinyal listrik.

c. Sensor suhu,

Sensor suhu adalah sensor yang cara kerjanya yaitu merubah besaran suhu menjadi besaran listrik. Komponen yang termasuk dalam sensor suhu disebutkan dibawah ini.

- i. NTC (*Negative Temperature Coefficient*), adalah komponen elektronika dimana jika dikenai panas, maka tahanannya akan naik.

- ii. PTC (*Positive Temperature Coefficient*), adalah komponen elektronika dimana jika terkena panas, maka tahanannya akan menurun.
- d. Sensor gaya,
- e. Sensor percepatan.

Sensor kimia adalah sensor yang mendeteksi jumlah suatu zat kimia dengan cara mengubah besaran kimia menjadi besaran listrik. Biasanya hal ini melibatkan beberapa reaksi kimia. Yang termasuk kedalam jenis sensor kimia diantaranya adalah:

- a) sensor pH,
- b) sensor gas, dan
- c) sensor oksigen.

2.4.2 Klasifikasi Transduser

Transduser diklasifikasikan kedalam 2 jenis, hal tersebut dapat dilihat dibawah ini.

- a. *Self generating transducer* (transduser pembangkit sendiri)

Self generating transducer adalah transduser yang hanya memerlukan satu sumber energi.

Contoh: *piezo electric, termocouple, photovoltaic, thermistor, hdn* sebagainya.

- b. *External Power Transducer* (transduser daya dari luar)

External power transducer adalah transduser yang memerlukan sejumlah energi dari luar untuk menghasilkan suatu keluaran.

Contoh: RTD (*resistance thermal detector*), Starin gauge, LVDT (*linier variable differential transformer*), Potensiometer, NTC, dsb.

Tabel 2.1 menyajikan prinsip kerja serta pemakaian transduser berdasarkan sifat kelistrikannya.

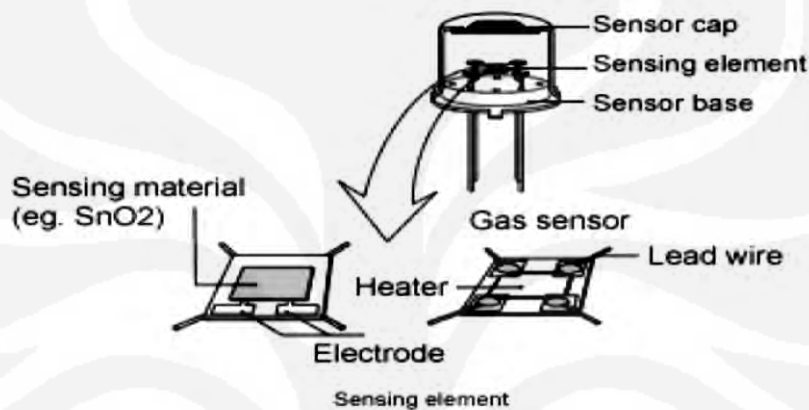
Tabel 2.1 Klasifikasi Transduser

| Parameter listrik dan kelas transduser | Prinsip kerja dan sifat alat | Pemakaian alat |
|---|---|---|
| Potensiometer | Perubahan nilai tahanan karena posisi kontak bergeser | Tekanan, pergeseran/posisi |
| Strain gage | Perubahan nilai tahanan akibat perubahan panjang kawat oleh tekanan dari luar | Gaya, torsi, posisi |
| Transformator selisih (LVDT) | Tegangan selisih dua kumparan primer akibat pergeseran inti trafo | Tekanan, gaya, pergeseran |
| Gage arus pusar | Perubahan induktansi kumparan akibat perubahan jarak plat | Pergeseran, ketebalan |
| Transduser Aktif | | |
| Sel fotoemisif | Emisi elektron akibat radiasi yang masuk pada permukaan fotemisif | Cahaya dan radiasi |
| Photomultiplier | Emisi elektron sekunder akibat radiasi yang masuk ke katoda sensitif cahaya | Cahaya, radiasi dan relay sensitif cahaya |
| Termokopel | Pembangkitan ggl pada titik sambung dua logam yang berbeda akibat dipanasi | Temperatur, aliran panas, radiasi |
| Generator kumparan putar (tachogenerator) | Perputaran sebuah kumparan di dalam medan magnet yang membangkitkan tegangan | Kecepatan, getaran |
| Piezoelektrik | Pembangkitan ggl bahan kristal piezo akibat gaya dari luar | Suara, getaran, percepatan, tekanan |
| Sel foto tegangan | Terbangkitnya tegangan pada sel foto akibat rangsangan energi dari luar | Cahaya matahari |
| Termometer tahanan (RTD) | Perubahan nilai tahanan kawat akibat perubahan temperatur | Temperatur, panas |
| Hygrometer tahanan | Tahanan sebuah strip konduktif berubah terhadap kandungan uap air | Kelembaban relatif |
| Termistor (NTC) | Penurunan nilai tahanan logam akibat kenaikan temperatur | Temperatur |
| Mikropon kapasitor | Tekanan suara mengubah nilai kapasitansi dua buah plat | Suara, musik, derau |
| Pengukuran reluktansi | Reluktansi rangkaian magnetik diubah dengan mengubah posisi inti besi sebuah kumparan | Tekanan, pergeseran, getaran, posisi |

2.5 Sensor Gas Tipe Semikonduktor

2.5.1 Prinsip Kerja Sensor Gas Tipe Semikonduktor

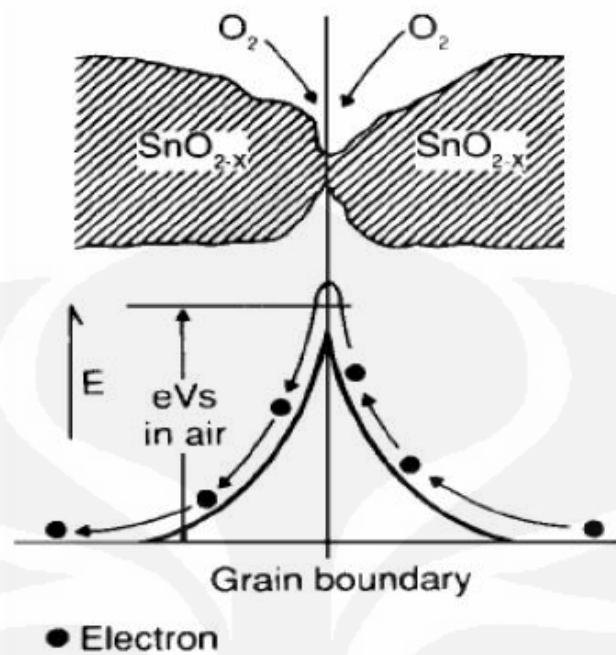
Sensor gas terdiri dari elemen sensor, dasar sensor, dan tudung sensor. Elemen sensor sendiri terdiri atas bahan sensor dan bahan pemanas untuk memanaskan elemen. Elemen sensor menggunakan bahan-bahan, seperti timah oksida SnO_2 , wolfram oksida WO_3 , dan lain-lain, tergantung pada gas yang hendak dideteksi. Gambar 2.6 menunjukkan susunan (struktur) dasar sensor gas.



Gambar 2.6 Susunan Dasar Sensor Gas [2]

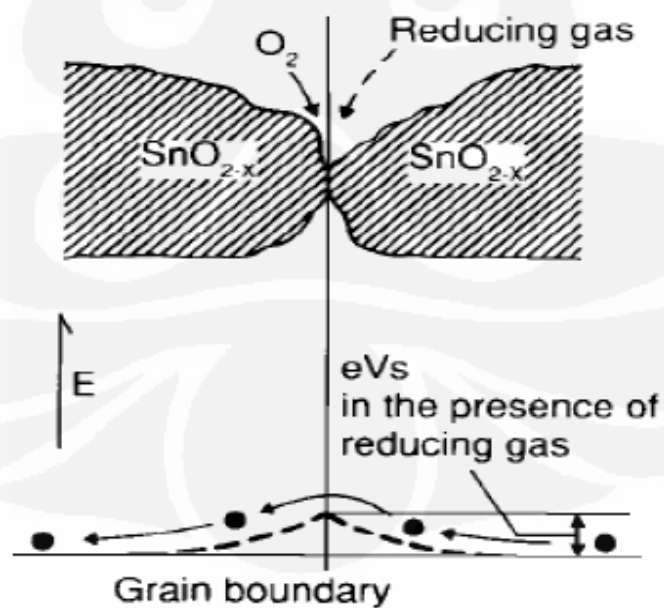
Bila suatu kristal oksida logam seperti SnO_2 dipanaskan pada suhu tinggi tertentu diudara, oksigen akan teradsorpsi pada permukaan kristal dengan muatan negative. Elektron-elektron donor pada permukaan kristal ditransfer ke oksigen teradsorpsi sehingga menghasilkan suatu lapisan ruang bermuatan positif. Akibatnya potensial permukaan terbentuk, yang akan menghambat aliran electron. Didalam sensor, arus listrik mengalir melalui bagian-bagian penghubung (batas butir) kristal-kristal mikro SnO_2 . Pada batas-batas antar butir, oksigen yang teradsorpsi membentuk penghalang potensial yang menghambat muatan bebas bergerak. Tahanan listrik sensor disebabkan oleh penghalang potensial ini.

Gambar 2.7 menunjukkan model penghalang potensial antar butir kristal mikro SnO_2 pada keadaan tanpa adanya gas yang dideteksi.



Gambar 2.7 Model Penghalang antar Butir pada Keadaan Tanpa Gas yang Dideteksi [2]

Dalam lingkungan adanya gas pereduksi, kerapatan oksigen teradsorpsi bermuatan negatif pada permukaan semikonduktor sensor menjadi berkurang, sehingga ketinggian penghalang pada batas antar butir berkurang. Ketinggian penghalang yang berkurang menyebabkan berkurangnya tahanan sensor butir dalam lingkungan gas (lihat Gambar 2.8)



Gambar 2.8 Model Penghalang Potensial Antar Butir Dalam Lingkungan Gas [2]

Hubungan antar tahanan sensor dan konsentrasi gas pereduksi pada suatu rentang konsentrasi gas dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$R_s = A C^{-a} \dots\dots\dots 2.4$$

dengan,

R_s = Tahanan listrik sensor

A = Konstanta

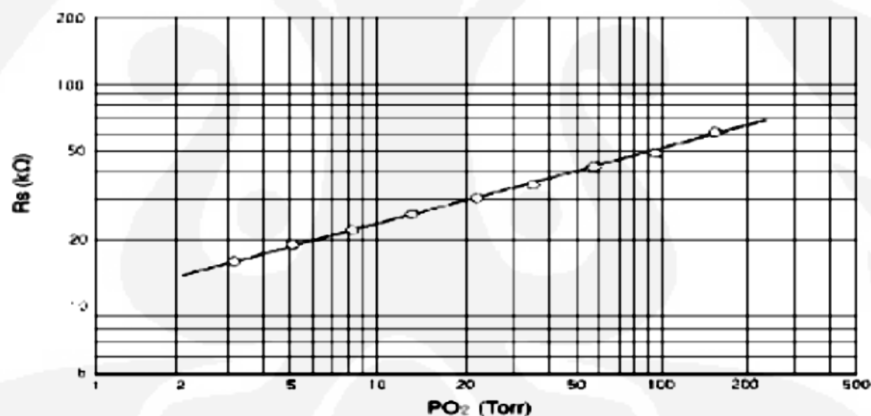
$[C]$ = Konsentrasi Gas

a = Gradien kurva R_s

2.5.2 Karakteristik Sensor Gas Tipe Semikonduktor

2.5.2.1 Pengaruh Tekanan Parsial Oksigen

Gambar 2.9 menunjukkan hubungan antara tekanan parsial oksigen di atmosfer (PO_2) dengan resistansi sensor gas tipe semikonduktor tertentu. Dalam udara bersih semakin tinggi tekanan parsial gas oksigen, semakin tinggi pula resistansi sensor.

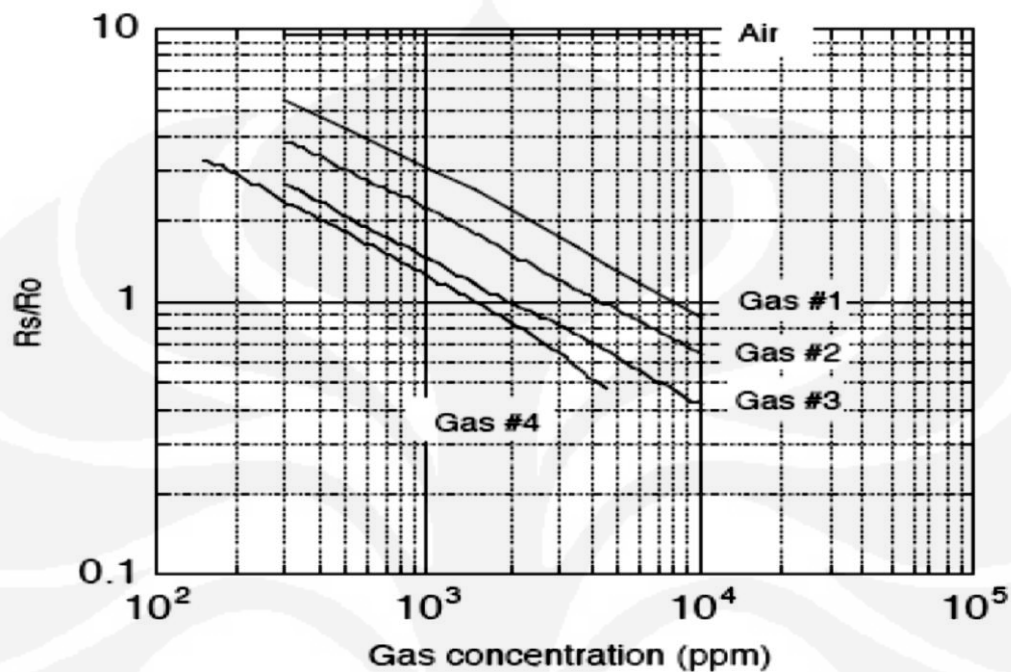


Gambar 2.9 Pengaruh Tekanan Parsial Gas Oksigen (PO_2) pada Resistansi Sensor [2]

2.5.2.2 Sensitivitas Terhadap Gas

Sesuai dengan rumus $R_s = A [C]^{-a}$ sebelumnya, hubungan resistensi sensor terhadap konsentrasi gas adalah linier dalam bentuk logaritma, dalam rentang tertentu konsentrasi gas (dari beberapa ppm ke beberapa ribu ppm). Gambar 2.10 merupakan suatu contoh hubungan antara resistensi sensor dan konsentrasi gas. Sensor memperlihatkan kepekaan yang berbeda-beda terhadap berbagai gas. Tingkat kepekaan relatif suatu sensor terhadap gas juga tergantung pada jenis bahan sensor dan temperatur. Karena resistensi sensor berbeda dari satu sensor ke

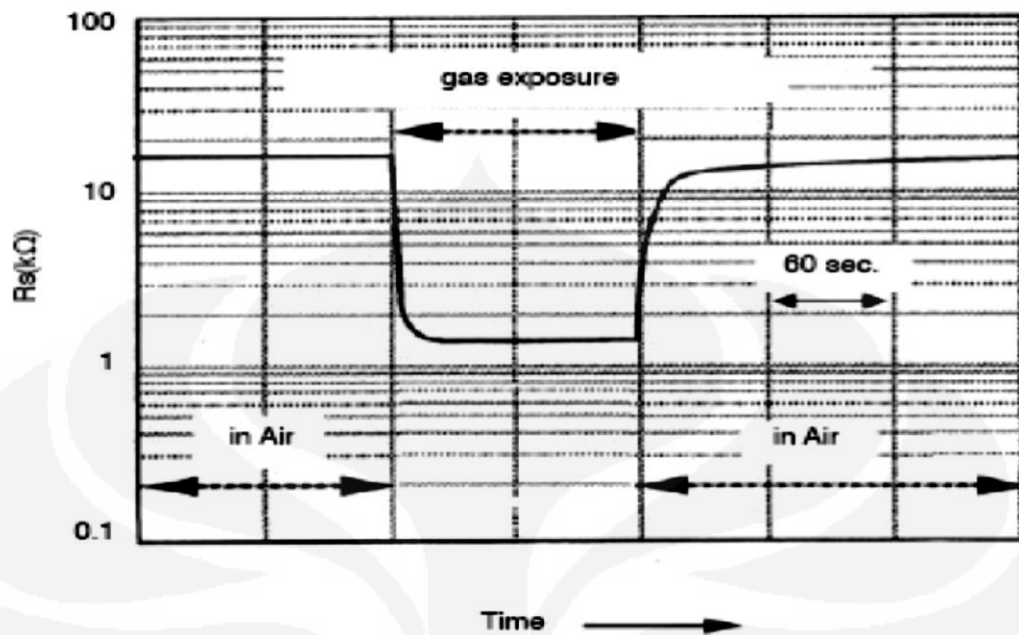
sensor lain. Maka karakteristik sensitivitas sensor dinyatakan sebagai rasio resistensi sensor dalam berbagai konsentrasi gas (R_s) dengan resistensinya dalam konsentrasi tertentu suatu gas target (R_o).



Gambar 2.10 Karakteristik Sensitivitas Sensor Tertentu Terhadap Berbagai Gas [2]

2.5.2.3 Respon Sensor

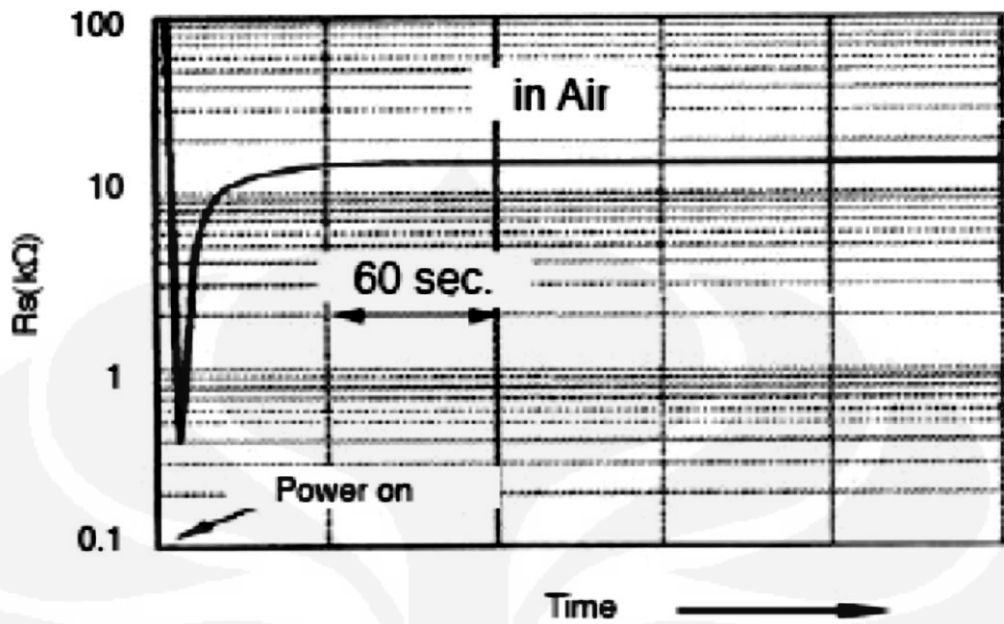
Gambar 2.11 memperlihatkan sifat tertentu ketika suatu sensor dikenakan terhadap suatu gas pendeoksidasi dan ketika sensor tersebut dijauhkan dari gas pendeoksidasi. Resistansi sensor akan menurun tajam dengan cepat ketika dikenakan pada gas, dan ketika dijauhkan dari gas resistansinya akan kembali ke keadaan semula, bervariasi sesuai dengan jenis sensor dan gas yang dideteksi.



Gambar 2.11 Contoh Respon Sensor [2]

2.5.2.4 Aksi Awal

Pada Gambar 2.12, semua sensor memperlihatkan sifat sementara yang disebut aksi awal, ketika sensor yang sebelumnya tak digunakan ataupun disimpan kemudian digunakan / diberi energi di udara. Besarnya R_s turun seketika dengan tajam selama beberapa detik setelah diberi energi, dalam keadaan ada atau tidak ada gas yang dideteksi, yang selanjutnya akan mencapai tingkat yang stabil sesuai dengan keadaan atmosfer sekitarnya. Lamanya aksi awal tergantung pada kondisi atmosfer selama penyimpanan, lamanya penyimpanan, dan jenis sensor.

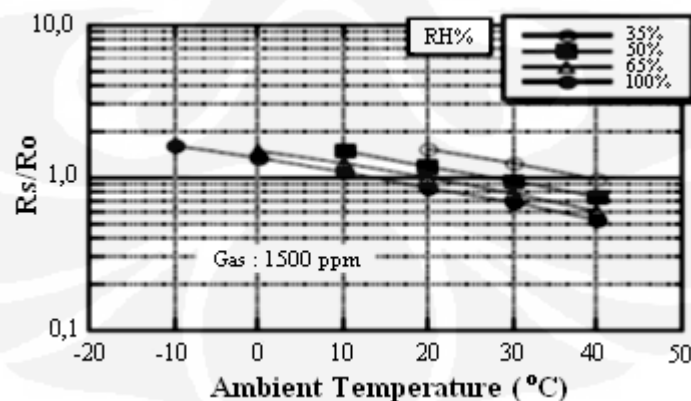


Gambar 2.12 Contoh Aksi Awal [2]

2.5.2.5 Pengaruh Temperatur dan Kelembaban

Prinsip pendeteksian gas dengan sensor gas tipe semikonduktor adalah proses adsorpsi dan desorpsi gas pada permukaan sensor. Sebagai akibatnya, temperatur sekitar akan mempengaruhi karakteristik sensitivitas sensor, karena perubahan laju adsorpsi dan desorpsi.

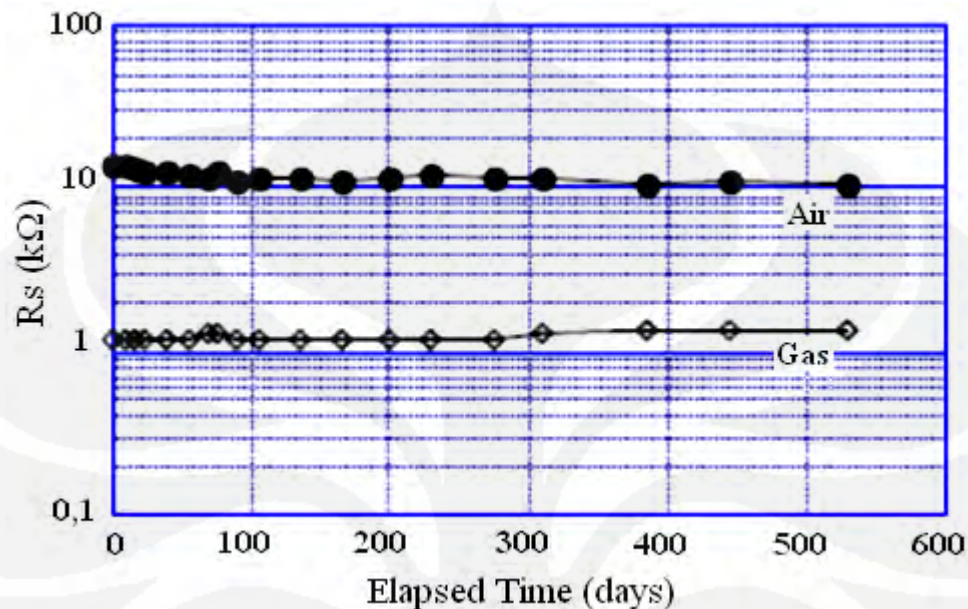
Demikian juga kelembaban akan menurunkan resistensi, karena uap air teradsorpsi pada permukaan sensor. Gambar 2.13 merupakan suatu contoh pengaruh temperatur dan kelembaban pada R_s/R_o .



Gambar 2.13 Contoh Pengaruh Temperatur dan Kelembaban [2]

2.5.2.6 Kestabilan Jangka Waktu Lama

Gambar 2.14 menunjukkan kestabilan sensor gas tipe semikonduktor untuk jangka waktu yang lama.



Gambar 2.14 Contoh Kestabilan Sensor Jangka Waktu Lama [2]

2.6 Sensor Gas Berbasis Surface Acoustic Wave

Teknologi sensor berkembang pesat hari ini. Sensor berbasis perangkat *Surface Acoustic Wave* juga mulai banyak digunakan di berbagai bidang seperti pemantauan lingkungan, pengendalian proses reaksi kimia pada pabrik, analisis dalam medis dan bio-sensing. Perangkat SAW memiliki banyak fitur unik untuk dimanfaatkan sebagai sensor. Perangkat SAW untuk sistem identifikasi gas telah mulai dipelajari sejak tiga dekade lalu [3].

Secara teoritis sensor berbasis *surface acoustic wave* memiliki keunggulan yaitu keluaran sensor tidak terpengaruh oleh interferensi listrik serta sensitivitas yang tinggi, yang merupakan prasyarat untuk penentuan senyawa gas dalam konsentrasi yang rendah, hal ini membuat sensor berbasis SAW sangat menarik bagi industri kimia [4].

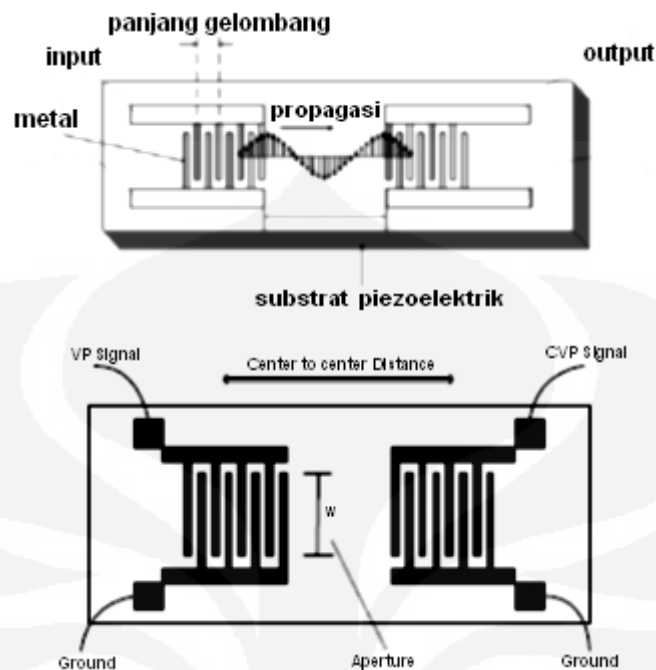
Suatu sensor gas berbasis *surface acoustic wave* terdiri atas transduser input interdigital, sebuah film penyerap bahan kimia, dan transduser interdigital output yang terletak pada suatu bahan piezoelektrik.

Setiap perubahan baik fisik maupun kimia yang terjadi pada permukaan pendeteksi yang ditempatkan pada suatu bahan piezoelektrik dapat mempengaruhi pergerakan gelombang SAW. Pada saat gelombang akustik berjalan melalui suatu bahan, setiap perubahan karakteristik yang terjadi dari bahan akan mempengaruhi kecepatan dan/atau amplituda dari gelombang tersebut. Perubahan dalam kecepatan dapat dimonitor dengan mengukur perubahan frekuensi yang dikaitkan dengan besaran fisika yang dimiliki dari objek yang diukur [5].

Gelombang SAW dapat diperoleh dengan memberikan tegangan bolak-balik pada suatu bahan *metal film inter-digital transducer* (IDT) yang ditempatkan pada permukaan berbahan piezoelektrik. Dua IDT dibutuhkan sebagai persyaratan dasar perangkat SAW seperti digambarkan pada Gambar 2.15. Salah satu dari IDT ini akan berfungsi sebagai perangkat input yang akan mengkonversi berbagai sinyal tegangan kedalam gelombang akustik. IDT yang lain akan berfungsi sebagai output yang menerima dan mengkonversi kembali gelombang SAW ke dalam output tegangan. Pengaturan ini disebut juga dengan *delay line* [6].

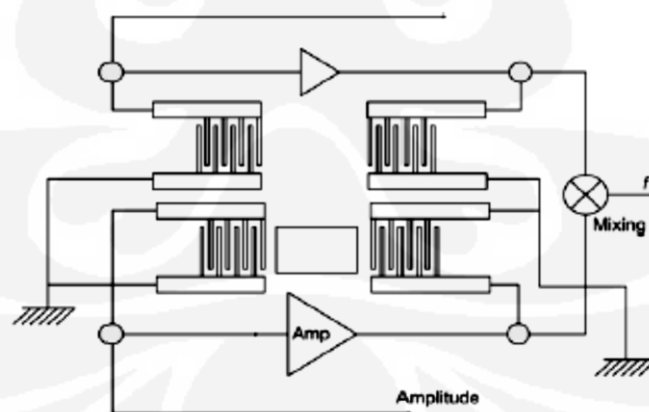
Sifat alami dari perangkat SAW, seperti kecepatan gelombang v_0 maupun koefisien kopling elektromekanik K^2 sangat dipengaruhi oleh sifat dari bahan piezoelektriknya.

Untuk mengembangkan sensor kimia berbasis osilator SAW sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.15, sebuah gelombang akustik permukaan dihasilkan pada substrat (bahan) piezoelektrik dengan menggunakan sinyal frekuensi radio pada transduser interdigital. Gelombang akan bergerak sesuai karakteristik kecepatan rambatnya pada permukaan substrat dan kemudian dideteksi oleh transduser kedua di ujung perangkat. Ketika gelombang terdeteksi, sinyalnya akan diperkuat oleh penguat operasi dan diumpankan kembali ke transduser masukan, sehingga akan terjadi osilasi frekuensi. Osilator kedua akan berfungsi sebagai referensi. Frekuensi dari masing-masing osilator akan diukur. Perubahan ini sebanding dengan perubahan massa.



Gambar 2.15 Skema Transduser SAW [7]

Dalam prakteknya, kebanyakan sensor kimia berbasis SAW mengandalkan sensitifitas massa mereka terhadap perubahan massa di permukaannya. Untuk memantau perubahan karakteristik propagasi gelombang akustik permukaan, sebuah rangkaian pengulang osilator digunakan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Rangkaian Osilator Sensor [7]

Desain dan simulasi dari sebuah sensor berbasis *surface acoustic wave* mengikuti persamaan efek piezoelektrik, sebuah model formasi dari gelombang Raleigh dan efek *electro-acoustic*.

Perangkat *surface acoustic wave* pada dasarnya adalah sebuah band pass filter. Untuk merancang sebuah perangkat SAW atau sebuah filter dengan frekuensi resonansi f_0 dan fraksi lebar pita B (yang dihitung dari nol ke nol pada setiap sisi frekuensi resonansi), dapat dihitung panjang gelombang akustik (λ) [8]:

$$\lambda = \frac{v_0}{f_0} \dots\dots\dots 2.5$$

Lebar dari setiap jari-jari yang menghasilkan suatu frekuensi sinkron adalah $\lambda/4$ dan jarak kosong antar inter-digital yang diukur dari pusat ke pusat adalah $\lambda/2$. Jumlah pasangan jari yang dibutuhkan untuk memperoleh spesifikasi dari fraksi lebar pita tersebut adalah [8]:

$$N_p = \frac{2}{B} \dots\dots\dots 2.6$$

Untuk karakteristik respon yang paling baik, impedansi (Z) dari IDT haruslah sama dengan impedansi dari sistem pengukuran (biasanya 50 ohm). IDT ini bersifat sebagai sistem kapasitif dengan total kapasitansi ditentukan oleh jumlah pasang jari, jarak kosong diantaranya, seperti halnya derajat penumpukan. Total kapasitansi yang dihasilkan adalah [8]:

$$C_t = \frac{1}{2\pi f_0 Z} \dots\dots\dots 2.7$$

Celah W (penumpukkan antar jari, dalam satuan panjang) adalah [8]:

$$W = \frac{C_t}{C_0 N_p} \dots\dots\dots 2.8$$

Besar respon frekuensi dari rata-rata IDT sebagai kontribusi tambahan lain dari masing-masing jari adalah [8]:

$$\phi_1 f = \frac{\sin X}{X} \dots\dots\dots 2.9$$

dengan

$$X = \frac{N_p \pi f - f_0}{f_0} \dots\dots\dots 2.10$$

Ketika dua IDT ditempatkan seri dan dipisahkan oleh sebuah pola delay dengan panjang L seperti pada perangkat SAW, pola delay hanya akan mempengaruhi dari fasa delaynya tetapi tidak pada respon besarnya. Besar frekuensi respon gabungan dari SAW adalah *dot product* yaitu [8]:

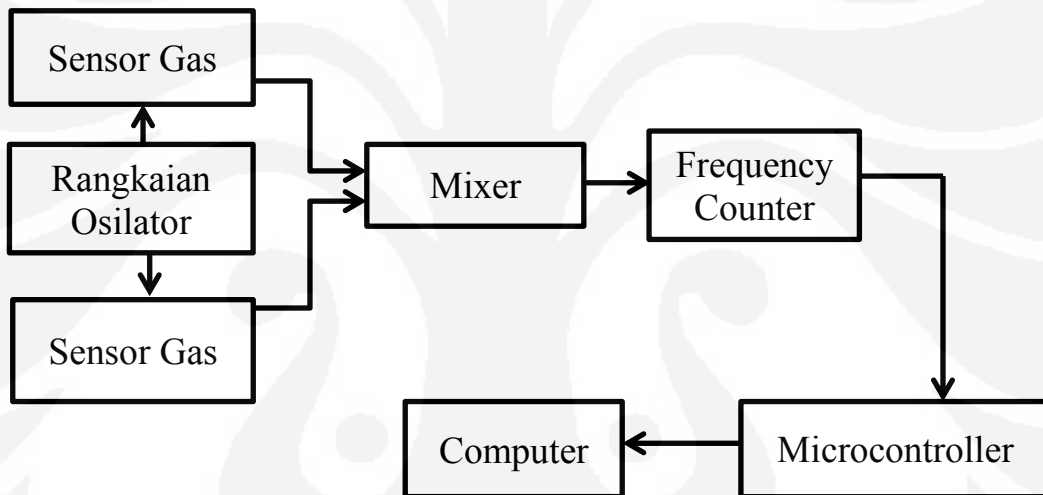
$$S_{21} f = \phi_1 f \cdot \phi_2 f \dots\dots\dots 2.11$$

BAB 3

PERANCANGAN DAN PEMBACAAN SENSOR

3.1 Perancangan Simulasi Sistem Identifikasi Gas

Perancangan simulasi sistem identifikasi gas ini menggunakan sensor gas berbasis *surface acoustic wave*. Secara umum, perancangan ini dibagi ke dalam 2 tahap, yaitu perancangan simulasi sistem perangkat keras dan perancangan simulasi sistem perangkat lunak dimana keduanya saling mendukung satu sama lain. Perangkat lunak akan mengendalikan segala proses yang akan dilakukan oleh perangkat keras dan akan mengolah segala informasi yang di dapat dari perangkat keras. Gambar 3.1 adalah blok diagram dari sistem secara keseluruhan.



Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem Identifikasi Gas

Pada bagian perancangan simulasi sistem perangkat keras, rangkaian elektronik yang digunakan terdiri atas beberapa bagian :

- a) sensor gas berbasis *surface acoustic wave*,
- b) rangkaian *mixer*,
- c) rangkaian *Frekuensi Counter*,
- d) rangkaian *Microcontroller*,
- e) komputer (*Personal Computer*) dan rangkaian *interface*-nya

Pada bagian perancangan simulasi sistem perangkat lunak, *software* yang digunakan adalah disebutkan dibawah ini.

- a. Perangkat lunak untuk mengendalikan *microcontroller*, dengan kemampuan yang harus dimiliki adalah :
 - i) mengambil data dari hasil rangkaian pencacah frekuensi, dan
 - ii) mengolah data untuk dapat dikirimkan ke PC.
- b. Perangkat lunak di komputer untuk melakukan analisa data yang diperoleh dengan menggunakan analisis jaringan syaraf tiruan (*neural network*).

3.2 Perancangan Sensor Gas Berbasis *Surface Acoustic Wave*

Perancangan sensor dalam sebuah simulasi sistem identifikasi gas menjadi suatu proses yang penting untuk dilakukan. Perancangan ini dilakukan dengan melalui beberapa tahapan dibawah ini.

- 1) Simulasi atas perancangan material *inter digital transducer* (IDT)

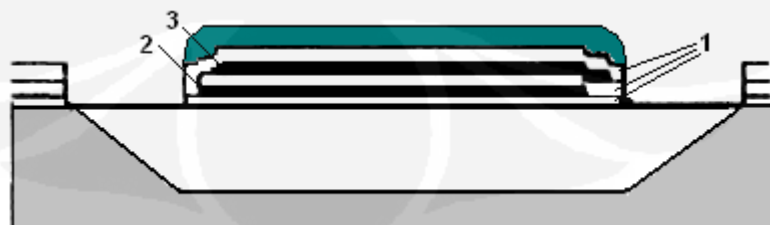
Perancangan IDT ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan *upper inter digital transducer* (IDT) CMOS. Proses dibawah ini menunjukkan proses fabrikasi sensor gas berbasis *surface acoustic wave*.

- a) Mengukir rongga untuk membentuk sebuah pulau. Proses ini ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Proses Awal Merancang IDT [9]

- b) Menempatkan ZnO pada pulau sebagai material piezoelektrik. Proses ini ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Proses Kedua Merancang IDT [9]

- c) Menempatkan metal untuk membentuk IDT. Proses ini ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Proses Ketiga Merancang IDT [9]

- d) Menempatkan polimer film untuk membentuk sensor gas. Proses ini ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Proses Keempat Merancang IDT [9]

Dari Gambar 3.2 – Gambar 3.5, lapisan 1 adalah lapisan SiO_2 , lapisan 2 adalah bahan polisilikon, dan lapisan 3 adalah lapisan metal (plat thermal).

2) Simulasi atas perancangan teknis posisi dan material IDT

Perancangan IDT ini juga melalui beberapa tahapan perhitungan untuk memperoleh sensor gas berbasis *surface acoustic wave* yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

Dalam hal ini, spesifikasi yang diinginkan untuk dicapai adalah sebuah sensor gas berbasis *surface acoustic wave* yang memiliki frekuensi resonansi sebesar 100 MHz.

Material piezoelektrik yang digunakan harus lebih tebal dari panjang gelombang agar kondisi mode gelombang Rayleigh dapat dipenuhi. Untuk memperoleh koefisien kopling yang besar dari bahan piezoelektrik, dibutuhkan ZnO film dengan arah kristal c-axis.

Lapisan ZnO ditempatkan pada suatu bahan silicon dengan teknik penyebaran RF. Ketebalan dari film ZnO kurang lebih 10 um. Lapisan aluminium ditempatkan pada film ZnO menggunakan penguapan sinar

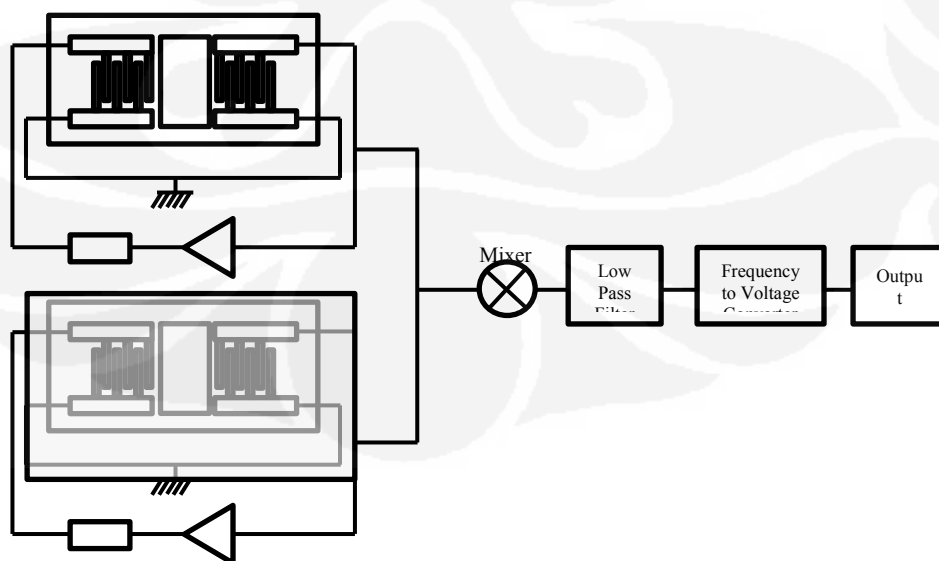
elektron dan dipolakan untuk membentuk IDT. Ketebalan dari lapisan aluminium sekitar 250 nm.

Pengulangan setiap elektroda adalah setiap 8 μm . Baik IDT input maupun output terdiri atas 30 pasang elektroda dengan konfigurasi elektroda yang seragam. Panjang delay adalah 50 panjang gelombang dan panjang celah akustik adalah 60 panjang gelombang.

Kondisi penyimpanan dioptimalkan untuk memperoleh kualitas film yang lebih baik. Film ZnO yang terakhir dihasilkan dari ruangan bertekanan 10 mTorr, 250 W daya RF, 7.5 cm jarak target dan 50/50 persen rasio O_2 terhadap Argon.

Sensor gas berbasis *surface acoustic wave* biasanya didesain untuk berjalan pada frekuensi radio (dengan rentang ratusan MHz). Namun dalam perancangan sistem ini, frekuensi osilator dirancang untuk bekerja di frekuensi 3 MHz. Hal ini dilakukan untuk menyesuaikan dengan frekuensi kerja maksimum dari microcontroller.

Untuk mengukur penyimpangan frekuensi yang disebabkan karena gas yang diserap, sistem sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.6 digunakan. Dalam gambar tersebut, dapat dilihat 2 perangkat *surface acoustic wave* yang terfabrikasi dalam bahan yang sama, dimana perangkat yang satu dilapisi dengan polimer penyerap gas, dan perangkat yang lain ditutup (disegel) untuk berfungsi sebagai referensi frekuensi sumber.



Gambar 3.6 Blok Diagram Sensor Gas Berbasis *Surface Acoustic Wave*

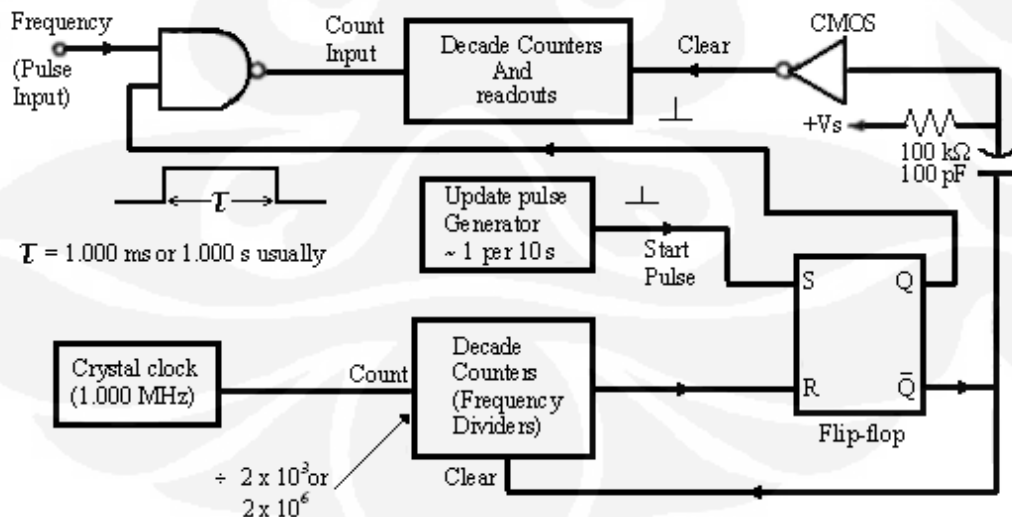
3.3 Perancangan Rangkaian Pencampur (*Mixer*) Frekuensi

Rangkaian pencampur frekuensi (*mixer*) berfungsi untuk mencampurkan frekuensi yang dihasilkan oleh perangkat SAW yang difungsikan sebagai sensor gas dengan perangkat SAW yang difungsikan sebagai referensi. Output dari rangkaian pencampur ini adalah penjumlahan antara frekuensi resonansi dari kedua perangkat SAW sebagaimana Persamaan 2.11 dari Bab 2 mengenai Kajian Teoritis.

3.4 Perancangan Rangkaian Pencacah Frekuensi (*Frequency Counter*)

Rangkaian pencacah frekuensi berfungsi untuk mengetahui besar perubahan frekuensi dari rangkaian *mixer*. Hal ini dapat terjadi akibat adanya perubahan frekuensi resonansi yang terjadi pada perangkat SAW yang difungsikan sebagai sensor gas.

Rangkaian pencacah frekuensi yang digunakan adalah pencacah frekuensi dengan kemampuan mencacah hingga ratusan MHz, sesuai dengan gelombang akustik yang dihasilkan oleh perangkat SAW yang bekerja pada rentang ratusan MHz. Gambar 3.7 adalah blok diagram dari rangkaian pencacah frekuensi yang dapat digunakan untuk mencacah hingga rentang ratusan MHz.



Gambar 3.7 Blok Diagram Rangkaian Pencacah Frekuensi [10]

3.5 Perancangan Sistem Minimum *Microcontroller*

Microcontroller digunakan untuk mengolah data yang diterima dari hasil pencacahan frekuensi. Sistem ini digunakan juga sebagai media transfer sebelum ke komputer. Data-data yang diterima oleh *microcontroller* diolah sedemikian rupa sehingga dapat ditransfer dan diterima sesuai dengan pola pengiriman ke computer.

Microcontroller yang digunakan dalam sistem ini adalah microcontroller keluaran ATMEL dengan jenis AT89S51. *Microcontroller* ini memiliki frekuensi kerja maksimum pada 33 MHz. Dengan menggunakan microcontroller ini, diharapkan pembacaan terhadap output sensor dapat menggambarkan gelombang lebih baik.

3.6 Perancangan Perangkat Lunak Pengendali *Microcontroller*

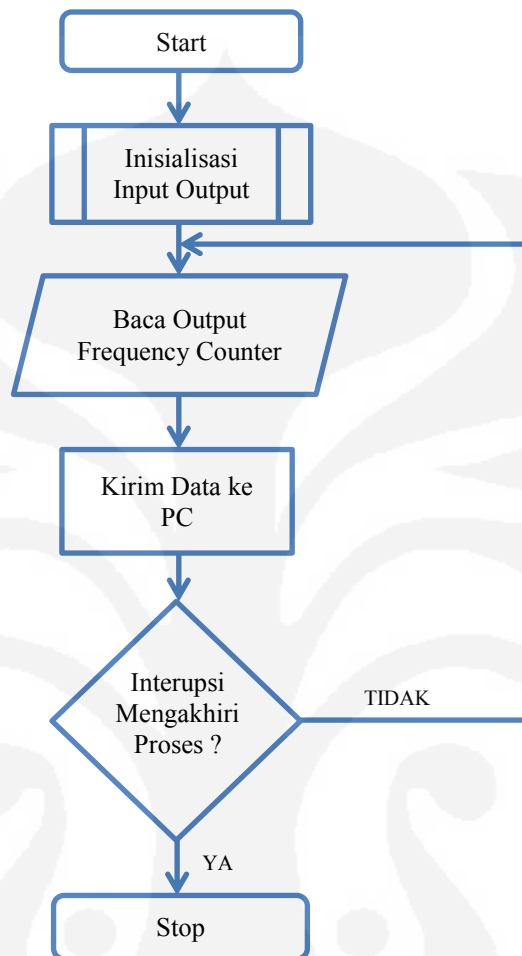
Perangkat lunak yang digunakan tujuannya adalah untuk membuat agar *microcontroller* dapat membaca masukan dari rangkaian pencacah frekuensi dan kemudian mengirimkan data tersebut langsung ke computer untuk diolah.

Perancangan perangkat lunak dilakukan dengan menggunakan beberapa *subroutine*. Penggunaan *subroutine* ini digunakan untuk memudahkan dalam melakukan *tracing* terhadap program yang dibuat, sehingga tubuh program menjadi sangat sederhana.

Setiap *subroutine* mewakili proses-proses yang dilakukan oleh *microcontroller*. *Subroutine* yang dibuat adalah *subroutine* untuk melakukan pengambilan data dari output rangkaian *frequency counter* dan *subroutine* yang kedua adalah *subroutine* untuk melakukan proses transfer data dari *microcontroller* ke *personal computer*.

Tahap pertama dari perancangan perangkat lunak di *microcontroller* adalah dengan melakukan inisialisasi terhadap input dan output yang akan digunakan. Tahap kedua dari perancangan ini adalah dengan memanggil *subroutine* untuk ambil data. Selanjutnya tahap ketiga adalah memanggil *subroutine* kirim data ke *personal computer*. Terakhir, disisipkan perintah untuk melakukan interupsi terhadap program apabila akan menghentikan proses dari sistem identifikasi gas.

Secara keseluruhan, Gambar 3.8 menunjukkan diagram alir dari perancangan perangkat lunak pengendali *microcontroller*.



Gambar 3.8 Diagram Alir Perangkat Lunak Pengendali Microcontroller

3.7 Perancangan Perangkat Lunak di PC untuk Menganalisa Data

Hasil dari pembacaan sensor dan pengiriman data ke *personal computer* akan menghasilkan pola-pola gelombang yang berbeda-beda untuk setiap jenis gas yang dideteksi. Pola gelombang ini kemudian diidentifikasi menggunakan analisa jaringan syaraf tiruan (*neural network*) dengan metoda rambat balik.

Algoritma rambat balik meliputi tiga tahapan. Tahap pertama adalah tahap maju. Pola masukan dihitung maju mulai dari layer input hingga layer *output* menggunakan suatu fungsi yang telah ditentukan.

Tahap kedua adalah tahap mundur. Selisih yang terjadi antara *output network* dengan target yang diinginkan adalah kesalahan yang terjadi. Kesalahan

tersebut dirambatkan mundur, dimulai dari garis yang berhubungan langsung dengan unit-unit di layer *output*.

Tahap ketiga adalah pengubahan bobot untuk menurunkan kesalahan yang terjadi. Proses ini dilakukan sampai dicapai suatu nilai kesalahan tertentu, misalnya sampai nilai *Mean Square Error* (MSE) $< 10^{-3}$ atau bila telah mencapai iterasi maksimum.

Akuisisi data hasil pengukuran, pembelajaran jaringan syaraf tiruan dan aplikasi identifikasi dalam *personal computer* dilakukan dengan menggunakan program yang dibuat dengan bantuan bahasa pemrograman. Dalam hal ini program yang digunakan adalah Microsoft visual basic 6.0.

Tahap terakhir setelah diperoleh hasil pembelajaran adalah kembali ke tahap maju dari algoritma rambat balik.

3.8 Cara Kerja Sistem Identifikasi Gas

Untuk merancang sebuah sistem identifikasi gas, Gambar 3.1 diatas menunjukkan skema diagram dari sistem secara keseluruhan. Sistem identifikasi gas ini terdiri atas sensor gas berbasis *surface acoustic wave* dengan skema dasar terdiri atas 2 perangkat *surface acoustic wave* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6. Frekuensi resonansi sensor akan menurun saat molekul gas yang diujikan terserap di permukaannya, namun frekuensi resonansi akan kembali normal setelah molekul sampel gas dihilangkan. Sensor ini selanjutnya diletakkan dalam sebuah ruang uji gas. Setiap perangkat *surface acoustic wave* dari sensor tersebut akan membangkitkan gelombang *surface acoustic wave* masing-masing. Output dari masing-masing perangkat ini akan dimasukkan ke dalam rangkaian mixer (pencampur) untuk mengetahui selisih frekuensi antara perangkat yang difungsikan sebagai pengidentifikasi gas dengan perangkat yang difungsikan sebagai referensi.

Gas yang masuk kedalam ruang uji akan mengakibatkan perubahan resonansi frekuensi gelombang SAW pada salah satu perangkat SAW dalam sensor. Perubahan frekuensi tersebut akan dicacah oleh sebuah *counter*. Hasil perhitungan dari *counter* frekuensi tersebut terlebih dahulu dilakukan konversi dari parameter frekuensi hasil menjadi parameter tegangan.

Data yang dihasilkan oleh sensor tersebut dikirimkan oleh *microcontroller* untuk kemudian ditampilkan dan dianalisa oleh *personal computer*, sehingga dapat diketahui pergeseran frekuensi resonansi antara sebelum dan sesudah diujikan gas. Selain itu dengan menggunakan analisa jaringan syaraf tiruan metoda rambat balik, dapat diidentifikasi jenis gas yang sedang diujikan.

3.9 Perencanaan Pembuatan Simulasi Sistem Identifikasi Gas

Dalam rangka meningkatkan pemahaman terhadap cara kerja dari sistem identifikasi gas ini, direncanakan untuk membuat simulasi dari :

- a) prinsip kerja dari sistem identifikasi gas,
- b) proses pembuatan perangkat IDT (*Inter Digital Transducer*) dari sensor *Surface Acoustic Wave*,
- c) prinsip kerja dari pengembangan sensor SAW yang berbentuk bola.

Pembuatan simulasi ini dilakukan dengan menggunakan program Adobe CS4 Professional, sebagai salah satu program yang sangat dikenal luas terutama dalam bidang pembuatan animasi 2D, karena kemudahan untuk dipahami dan fleksibilitas penggunaan yang cukup tinggi.

Proses pembuatan simulasi ini dilakukan melalui beberapa tahapan utama, diantaranya ditunjukkan oleh proses dibawah ini.

1. Mengetahui lingkungan kerja Adobe CS4 Professional

Untuk mulai membuat suatu animasi, terlebih dahulu dibutuhkan pengetahuan akan lingkungan kerja dari program yang digunakan itu sendiri. Hal ini diperlukan agar diperoleh kemudahan dalam menggunakan peranti-peranti yang telah disediakan.

2. Membuat objek geometri

Membuat animasi dibutuhkan terlebih dahulu objek-objek yang akan dibuat, seperti perangkat sensor SAW, ruang uji gas, tabung-tabung gas, perangkat pembaca sensor maupun gelombang, *personal computer*, hingga *template* dasar untuk penggambaran grafik pada *personal computer*.

3. Membuat animasi

Animasi dalam sistem ini dibuat dengan menggunakan efek gerak dari setiap objek, baik secara posisi maupun skala. Selain itu, digunakan juga

beberapa *movie clip* untuk membuat suatu objek yang berada pada stage agar tetap berjalan, walaupun kondisi tidak ada kondisi apapun yang terjadi.



BAB 4

SIMULASI DAN ANALISIS

Simulasi terhadap rancang bangun sistem identifikasi gas didesain dengan menggunakan software/perangkat lunak adobe flash professional CS4 untuk dapat diperoleh pemahaman terhadap proses identifikasi gas menggunakan sensor gas berbasis *surface acoustic wave*. Selain itu, simulasi dengan menggunakan software/perangkat lunak yang sama juga dilakukan terhadap proses pembuatan *inter digital transducer* (IDT) sebagai komponen utama dari sensor gas berbasis *surface acoustic wave*. Pengembangan selanjutnya adalah simulasi terhadap prinsip kerja sensor gas yang berbentuk bola berbasis *surface acoustic wave*.

4.1 Analisis Terhadap Simulasi Proses dari Sistem Identifikasi Gas

Simulasi proses dari sistem identifikasi gas dibuat dengan menyusun seluruh perangkat yang digunakan dalam sistem identifikasi gas. Sistem ini terdiri atas :

- a) perangkat sensor gas berbasis *surface acoustic wave* sebanyak 2 buah. Sensor yang satu difungsikan sebagai penghasil gelombang *surface acoustic wave* (SAW) referensi.
- b) tabung Uji,
- c) tabung berisi sampel uji (sebanyak 3 buah),
- d) rangkaian *mixer*,
- e) rangkaian *frequency counter*,
- f) sistem *minimum microcontroller*,
- g) *personal computer*, yang menampilkan grafik hasil pembacaan sensor gas.

Pada saat sistem identifikasi gas dijalankan, kedua perangkat sensor gas berbasis *surface acoustic wave* akan memancarkan gelombang. Gelombang tersebut dipancarkan oleh salah satu IDT melalui pola *delay* kemudian diterima oleh IDT yang lain pada perangkat sensor yang sama. IDT yang menerima gelombang ini akan menerima, menguatkan dan memancarkan kembali gelombang yang sama ke IDT pertama dan terus berulang, sehingga diperoleh

frekuensi gelombang resonansi diantara kedua IDT tersebut. Besar frekuensi yang dihasilkan oleh masing-masing perangkat tersebut adalah sebesar 3 MHz.

Frekuensi gelombang tersebut akan terus terjaga selama tidak adanya pengaruh dari luar. Namun pada saat suatu gas lain dideteksi oleh thin film yang terletak pada pola *delay*, maka frekuensi gelombang akan berubah. Perubahan frekuensi ini hanya terjadi pada salah satu perangkat sensor, karena perangkat sensor yang lain disegel sedemikian rupa, sehingga perubahan gas apapun tidak akan merubah frekuensi dari gelombang.

Oleh karena itu, perangkat sensor SAW yang satu akan menghasilkan gelombang SAW dengan frekuensi resonansi yang berbeda dengan perangkat sensor SAW yang lainnya. Perbedaan inilah yang dapat digunakan untuk mendeteksi suatu gas yang teridentifikasi oleh sistem.

Output dari masing-masing perangkat sensor SAW akan dimasukkan ke rangkaian pencampur (mixer) untuk digabungkan dan diperoleh frekuensi gabungan. Hasilnya kemudian dimasukkan ke rangkaian frekuensi counter untuk dihitung berapa frekuensi saat teridentifikasi adanya gas.

Kemudian hasil pencacahan frekuensi yang dilakukan oleh rangkaian *frequency counter* akan dibaca oleh *microcontroller*. Sistem *microcontroller* yang digunakan memiliki frekuensi kerja maksimum 33 MHz. Hal ini diharapkan agar penarikan data yang dilakukan oleh *microcontroller* dapat dilakukan lebih cepat daripada frekuensi gelombang itu sendiri. Sehingga akan diperoleh kualitas data yang lebih baik untuk setiap siklus gelombang yang terjadi.

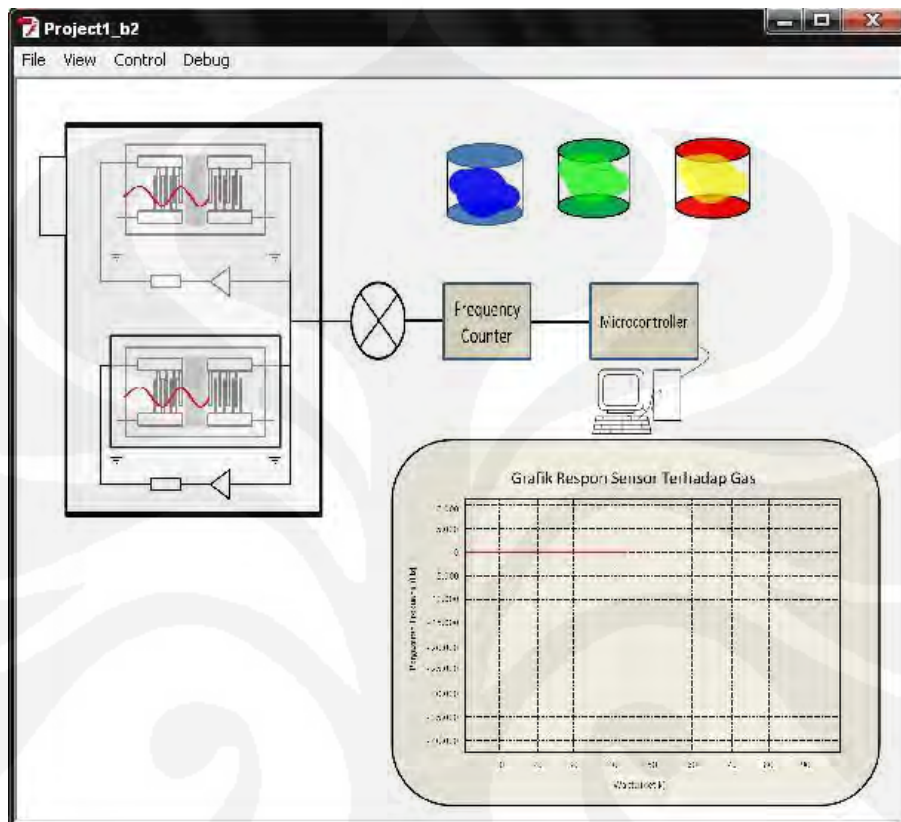
Setiap data dari *frequency counter* yang diambil oleh *microcontroller* akan ditransfer ke personal computer menggunakan media transmisi kabel RS232 yang cukup populer dibidang transmisi data sistem-sistem monitoring maupun pengendali.

Hasil data yang diterima akan diolah dan diterjemahkan kedalam grafik sehingga akan diperoleh grafik respon perubahan frekuensi gelombang terhadap waktu. Hasil data inipun akan diolah menggunakan metoda jaringan syaraf tiruan untuk mengidentifikasi jenis gas yang dideteksi oleh sensor.

Metoda jaringan syaraf tiruan dilakukan dengan sebelumnya menyimpan data respon frekuensi gelombang dari gas yang sudah dideteksi. Gas baru yang

dideteksi akan dibuat polanya dan dilakukan perbandingan dengan cara menganalisis dengan gelombang yang sebelumnya sudah ada dalam basis data.

Gambar 4.1 adalah model simulasi dari sistem identifikasi gas.



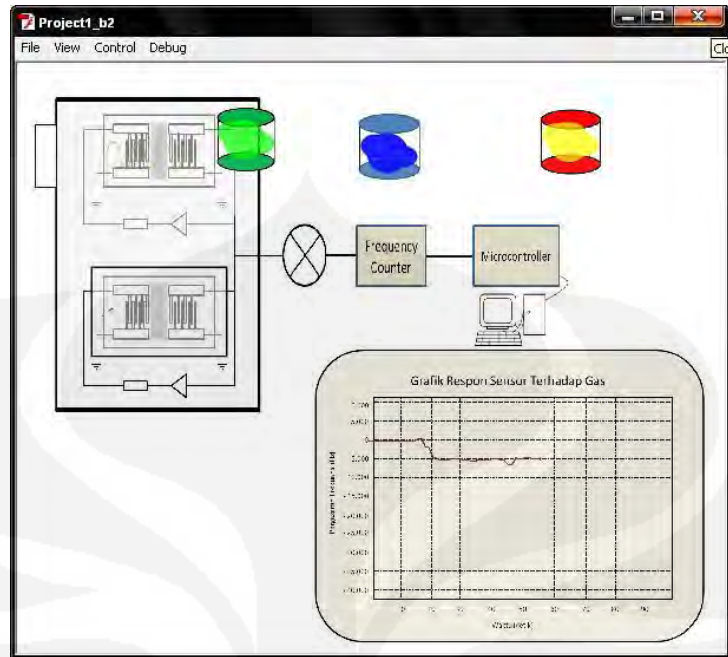
Gambar 4.1 Model Simulasi Sistem Identifikasi Gas

Simulasi percobaan terhadap respon sistem identifikasi gas dilakukan terhadap 3 jenis gas yang dihasilkan oleh solar, pertamax dan ethanol. Dari hasil percobaan ini diperoleh hasil pembacaan dibawah ini.

a. Pembacaan terhadap Solar

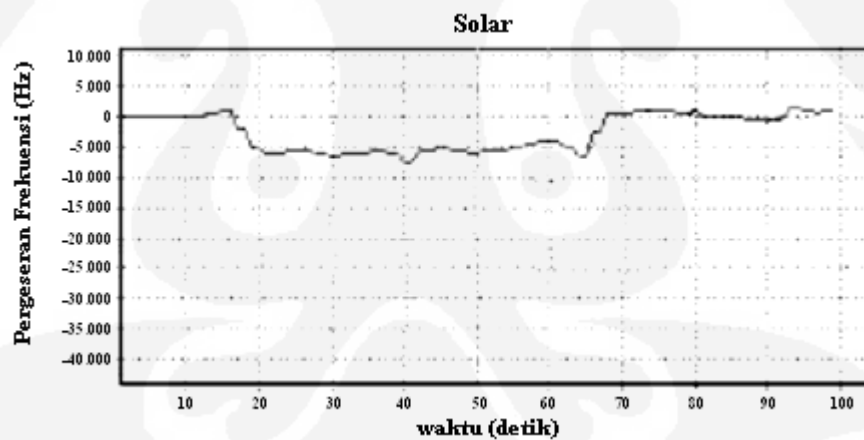
Simulasi pada saat sensor membaca sampel uji solar dilakukan dengan melakukan drag-drop terhadap tabung berwarna hijau pada tabung uji. Pada saat tersebut, frekuensi resonansi yang terjadi di perangkat SAW pertama akan berubah. Perubahan frekuensi resonansi tersebut akan mengakibatkan terjadinya pergeseran frekuensi pada grafik di *personal computer*, sehingga dapat dideteksi gas yang masuk ke dalam tabung uji tersebut.

Proses simulasi pembacaan sensor dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Simulasi Pembacaan Sensor Terhadap Sampel Solar

Grafik respon sensor terhadap sampel solar secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 4.3.



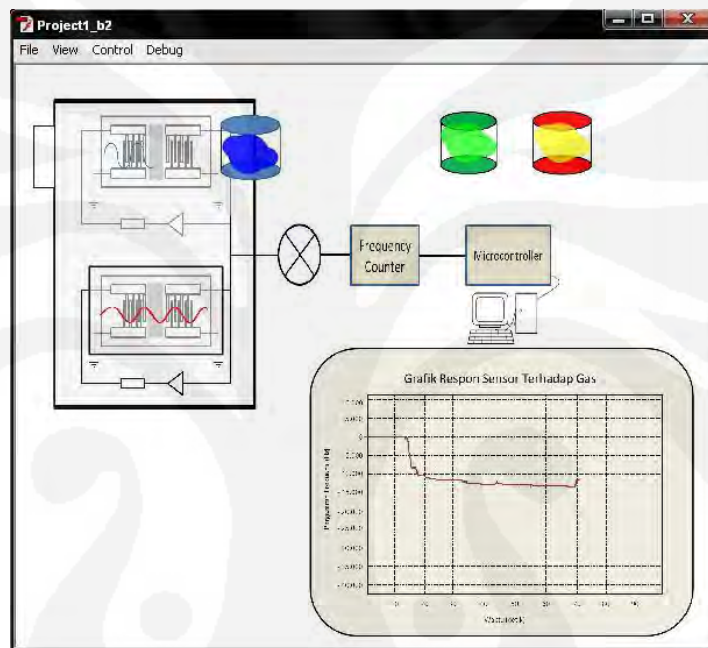
Gambar 4.3 Respon Pembacaan Sensor Terhadap Solar [3]

Pergeseran Frekuensi : Antara 5000 Hz – 7000 Hz
 Respon pembacaan hingga diperoleh kondisi steady : Kurang lebih 10 detik

b. Pembacaan terhadap Pertamax

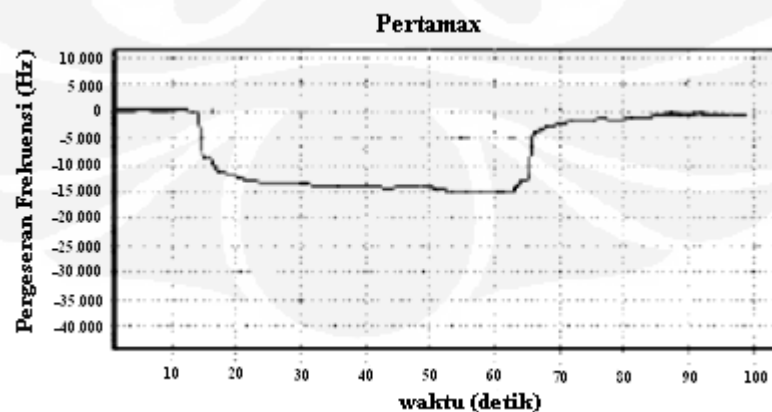
Simulasi pada saat sensor membaca sampel uji pertamax dilakukan dengan melakukan *drag-drop* terhadap tabung berwarna biru pada tabung uji. Pada saat tersebut, frekuensi resonansi yang terjadi di perangkat SAW pertama akan berubah. Perubahan frekuensi resonansi tersebut akan mengakibatkan terjadinya pergeseran frekuensi pada grafik di, sehingga dapat dideteksi gas yang masuk ke dalam tabung uji tersebut.

Proses simulasi pembacaan sensor dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Simulasi Pembacaan Sensor Terhadap Sampel Pertamax

Grafik respon sensor terhadap sampel solar secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 4.5.



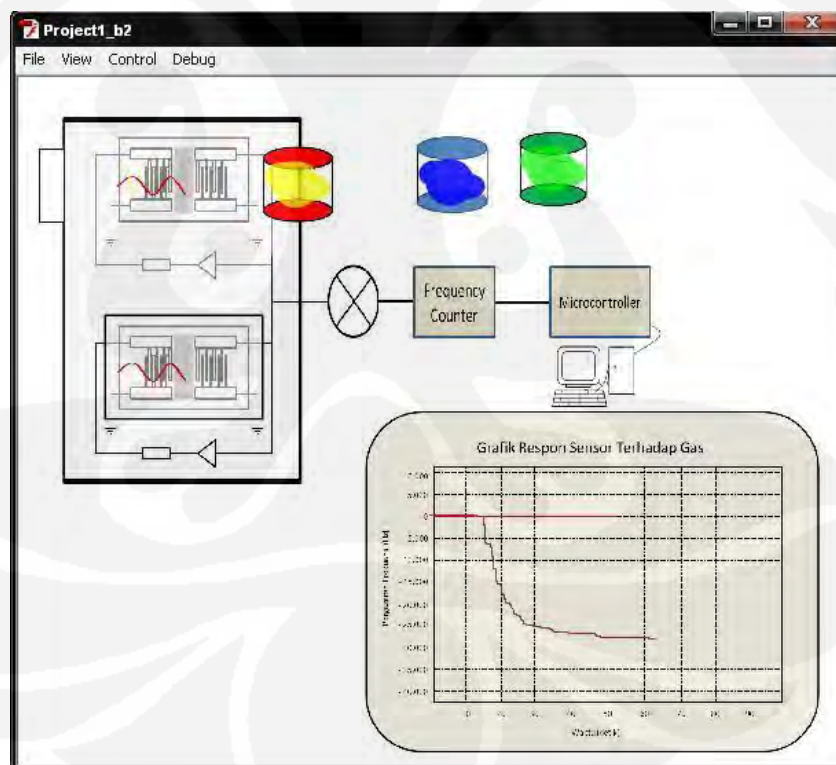
Gambar 4.5 Respon Pembacaan Sensor Terhadap Pertamax [3]

Pergeseran Frekuensi : Antara 13.000 Hz – 15.000 Hz
 Respon Pembacaan Hingga Kondisi Steady : Kurang lebih 12 detik

c. Pembacaan terhadap Ethanol

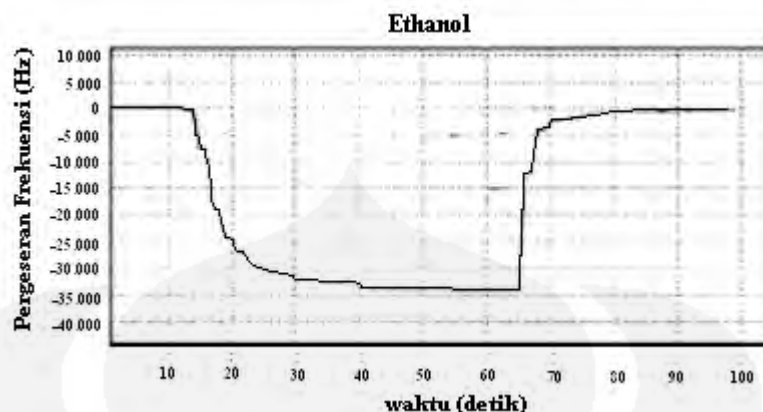
Simulasi pada saat sensor membaca sampel uji ethanol dilakukan dengan melakukan drag-drop terhadap tabung berwarna merah pada tabung uji. Pada saat tersebut, frekuensi resonansi yang terjadi di perangkat SAW pertama akan berubah. Perubahan frekuensi resonansi tersebut akan mengakibatkan terjadinya pergeseran frekuensi pada grafik di *personal computer*, sehingga dapat dideteksi gas yang masuk ke dalam tabung uji tersebut.

Proses simulasi pembacaan sensor dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Simulasi Pembacaan Sensor Terhadap Sampel Ethanol

Grafik respon sensor terhadap sampel solar secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Respon Pembacaan Terhadap Ethanol [3]

Pergeseran Frekuensi : Antara 33.000 Hz – 35.000 Hz

Respon Pembacaan Hingga Kondisi Steady : Kurang lebih 25 detik

Berdasarkan hasil pembacaan terhadap ketiga sampel uji diatas, solar memiliki pergeseran frekuensi yang lebih kecil dibandingkan dengan pertamax dan ethanol. Selain itu, respon pergeseran frekuensi solar lebih cepat dibandingkan dengan respon pergeseran frekuensi yang lainnya. Respon pergeseran frekuensi dapat dipengaruhi besar pergeseran frekuensi yang terjadi. Semakin besar pergeseran frekuensi yang terjadi, maka semakin lambat respon sistem untuk mencapai kondisinya. Tabel 4.1 menunjukkan kesimpulan atas simulasi pengujian yang dilakukan.

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Pengujian Sistem Identifikasi Gas

| Jenis Sampel Uji | Besar Pergeseran Frekuensi | Respon Waktu Hingga Kondisi Diperoleh Steady | Keterangan |
|------------------|----------------------------|--|--|
| Solar | 5.000 Hz – 7.000 Hz | Kurang lebih 10 detik | <ul style="list-style-type: none"> Pengujian pada solar menghasilkan pergeseran frekuensi yang tidak terlalu jauh dari frekuensi referensi (normal). Respon waktu hingga diperoleh kondisi steady paling cepat |

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Pengujian Sistem Identifikasi Gas (lanjutan)

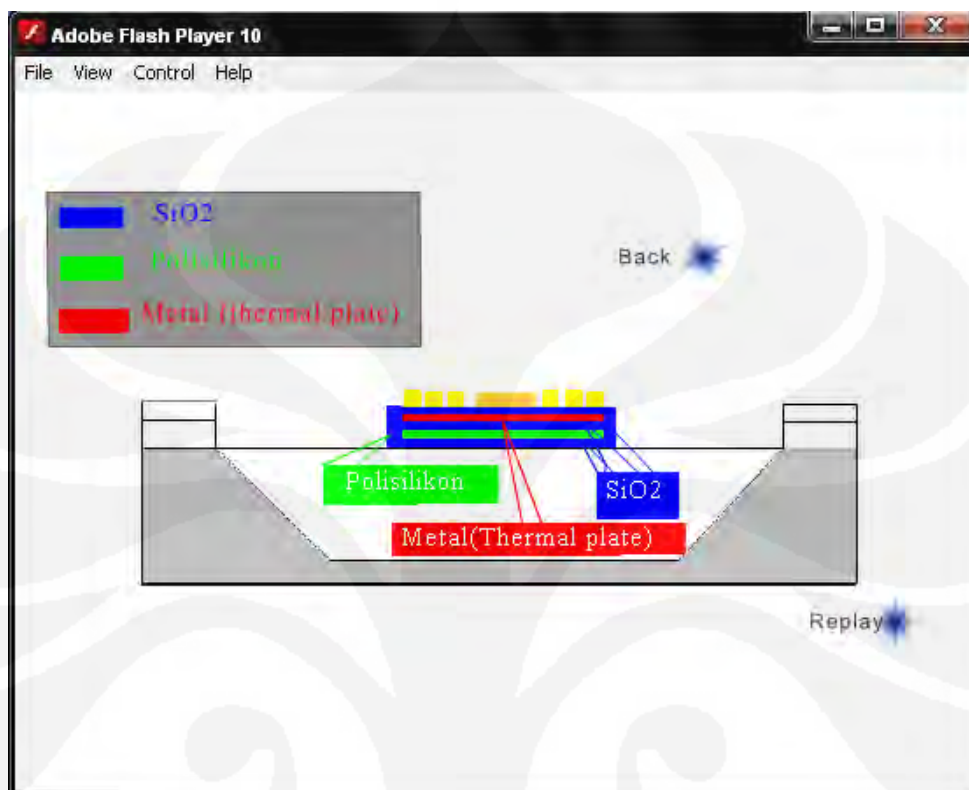
| Jenis Sampel Uji | Besar Pergeseran Frekuensi | Respon Waktu Hingga Kondisi Diperoleh Steady | Keterangan |
|------------------|----------------------------|--|--|
| Pertamax | 13.000 Hz – 15.000 Hz | Kurang lebih 12 detik | <ul style="list-style-type: none"> • Pengujian pada pertamax menghasilkan pergeseran frekuensi lebih jauh dibandingkan dengan solar. • Respon waktu hingga diperoleh kondisi steady membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan pada saat pengujian terhadap solar. |
| Ethanol | 33.000 Hz – 35.000 Hz | Kurang lebih 25 detik | <ul style="list-style-type: none"> • Pengujian pada ethanol menghasilkan pergeseran frekuensi yang paling jauh diantara ketiga sampel yang diuji. • Respon waktu hingga diperoleh kondisi steady juga membutuhkan waktu yang paling lama. |

4.2 Analisis terhadap Simulasi Proses Fabrikasi *Inter Digital Transducer* (IDT)

Proses fabrikasi *inter digital transducer* (IDT) dilakukan dengan melalui beberapa tahapan. Material yang digunakan sendiri ada beberapa jenis, yaitu :

- lapisan SiO₂,
- lapisan polisilikon (heater),
- lapisan metal (thermal plate),
- lapisan ZnO,
- lapisan polimer.

Proses fabrikasi ini disusun melalui beberapa tahapan seperti pada Gambar 3.2 sampai dengan Gambar 3.5 di Bab 2. Desain simulasinya dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Simulasi Proses Fabrikasi *Inter Digital Transducer* (IDT)

4.3 Analisis terhadap Simulasi Prinsip Kerja Sensor Gas Berbentuk Bola Berbasis *Surface Acoustic Wave*

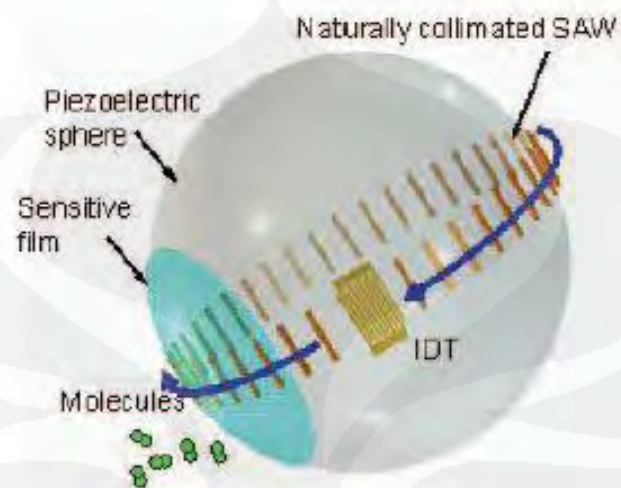
Suatu gelombang tipis biasanya akan menyimpang akibat adanya difraksi, yang merupakan keterbatasan dari banyak perangkat yang menggunakan gelombang tersebut. Namun demikian, suatu gelombang *surface acoustic wave* pada sebuah bola dengan pengaturan yang tepat akan berputar secara alami, menghasilkan suatu lintasan melingkar disepanjang ekuator bola.

Efek ini disebabkan karena adanya keseimbangan antara pengaruh difraksi dan pengaruh pemusatan pada sebuah permukaan bola. Hal tersebut akan menghasilkan kinerja yang baik bagi sensor.

Kelebihan dari sensor ini terutama ketika diaplikasikan akan memperoleh sensitivitas yang tinggi dengan rugi-rugi daya yang tidak terlalu besar. Ketika sensor ini diterapkan untuk mendeteksi gas hidrogen, rentang identifikasi sensor

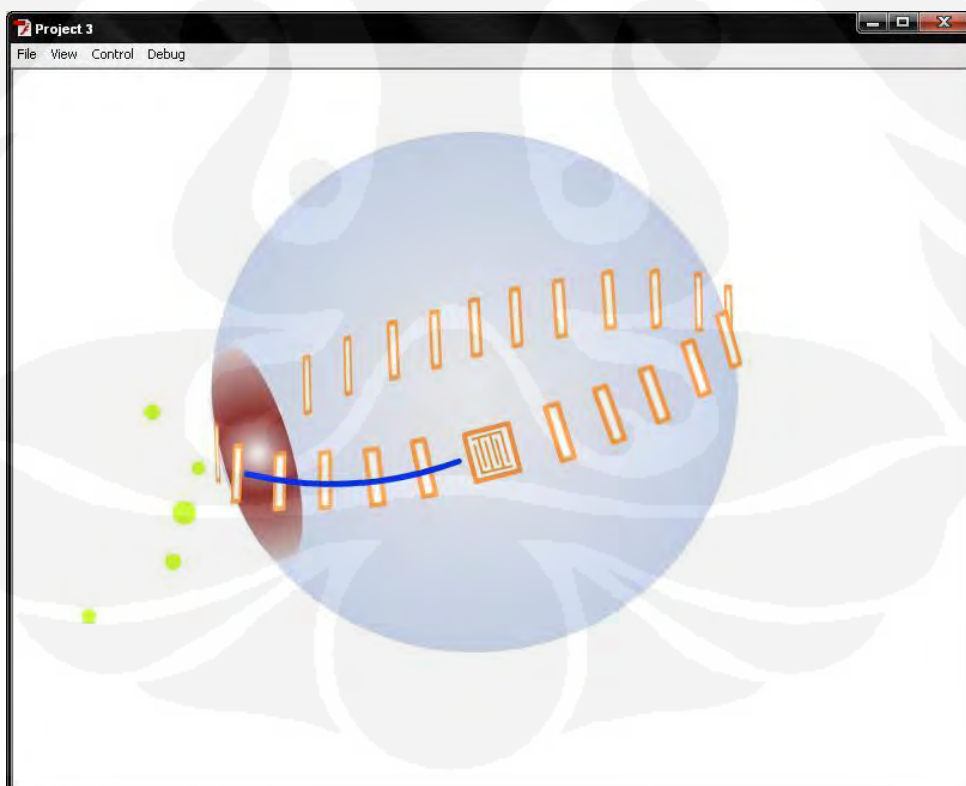
sampai dengan 10 ppm dan respon waktu yang cepat yaitu sampai dengan 20 detik sehingga tidak memanaskan film sensitif.

Prinsip kerja sensor ini dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Prinsip Kerja Sensor Gas Berbentuk Bola Berbasis SAW [11]

Sementara hasil simulasi terhadap sensor gas berbentuk bola yang berbasis *surface acoustic wave* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Simulasi dari Prinsip Kerja Sensor Gas Berbentuk Bola Berbasis SAW

BAB 5

KESIMPULAN

1. Perancangan sistem identifikasi gas berbasis *surface acoustic wave* (SAW) dapat dilakukan dengan simulasi menggunakan adobe flash professional CS4.
2. Prinsip kerja dari sensor gas berbasis *surface acoustic wave* adalah dengan memanfaatkan perubahan frekuensi resonansi yang terjadi pada *thin film* yang terletak pada pola delay dari perangkat SAW.
3. Simulasi percobaan dilakukan terhadap 3 jenis sampel uji, yaitu gas yang dihasilkan oleh solar, pertamax dan ethanol. Hasil simulasi percobaan menunjukkan solar memiliki pergeseran frekuensi yang lebih kecil (5000 – 7000 kHz) dibandingkan dengan pertamax (13000 – 15000 kHz) dan ethanol (33000 – 35000 kHz). Selain itu, karena solar memiliki pergeseran frekuensi yang paling kecil tersebut, respon waktu hingga diperoleh kondisi steady menjadi lebih cepat, kurang lebih 10 detik dibandingkan dengan pertamax yang mencapai 12 detik dan ethanol yang mencapai 25 detik.

DAFTAR ACUAN

- [1] <http://zone.ni.com/devzone/cda/ph/p/id/227>
- [2] <http://repository.usu.ac.id/handle/123456789/19898>
- [3] H. Wohltjen and R. Dessy, 1979, *Surface acoustic wave probe for chemical analysis*, *Anal. Chem.*, 51: p. 1458-1475.
- [4] N. Graber, H. Liidi and H. M. Widmer, 1990. *The use of chemical sensors in industry*, *Sensors and Actuators B*, 1: p. 239-243.
- [5] Ballantine, D. S., White, R. M., Martin, S. ., Ricco, A. J., Frye, G. C., Zellers, E. T. and Wohltjen, H., 1997, *Acoustic Wave Sensors: Theory, Design, and Physico-Chemical Applications*, Academic Press, San Diego.
- [6] Campbell, Collin K., 1989, *Surface Acoustic Wave Devices and Their Signal Processing Applications*, Academic Press, San Diego.
- [7] mulyadi, & taufiqurrohman, Muhammad., 2010., *Jurnal Seminar Implementasi Sensor Gas Berbasis Surface Acoustic Wave dari Modifikasi Komponen Tapis Analog*. ISBN No. 979-545-0270-1
- [8] Chaudari, Amol V., Cular, Stevan., Srinivasagupta, Deepak., Bethanabotlai, Venkat R., Babu, Joseph., *Surface Acoustic Wave Sensors using Nanocrystalline Palladium for Hydrogen Gas Detection*, Sensors Research Laboratory, Department of Chemical Engineering, University of South Florida
- [9] Hassani, Farid., Tigli, Onur., Ahmadi, Shahrokh., Korman, Can., dan Zaghoul, Mona., *Journal Integrated CMOS Surface Acoustic Wave Gas Sensor : Design and Characteristic*, 20052
- [10] digilib.ubaya.ac.id/skripsi/teknik/TE_72.../TE_72_Bab%20III.pdf
- [11] Yamanaka, Kazushi., Ishikawa, Satoru., Nakaso, Noritaka., Takeda, Nobuo., Sim, Dong Youn., Mihara, Tsuyoshi., Mizukami, Akio., Satoh, Ichitaro., Akao, Shingo., and Tsukahara, Yusuke., 2006. *Ultramultiple Roundtrips of Surface Acoustic Wave on Sphere Realizing Innovation of Gas Sensors*. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, vol. 53, no. 4