

Pengembangan Nanokeramik $Zn_xFe_{2-x}O_3:Mn$ Berbahan Lokal Sebagai Sensor Alkohol Bersensivitas Tinggi



Dr. Hasniah Aliah, dkk.



PUSAT PENELITIAN DAN PENERBITAN
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UIN SUNAN GUNUNG DJATI BANDUNG
2019

ISBN 978-623-7633-04-4



9 786237 633044



**Pengembangan Nanokeramik
 $Zn_xFe_{2-x}O_3:Mn$ Berbahan Lokal
Sebagai Sensor Alkohol
Bersensitivitas Tinggi**

Dr. Hasniah Aliah, dkk 2019

Hak Cipta © 2019 Pada Penulis dan dilindungi Undang-Undang

Pengembangan Nanokeramik $Zn_xFe_{2-x}O_3:Mn$ Berbahan Lokal Sebagai Sensor Alkohol Bersensitivitas Tinggi

Oleh Dr. Hasniah Aliah, dkk.

Email: hasniahaliah@uinsgd.ac.id

ISBN: 978-623-7633-04-4

ISBN 978-623-7633-04-4



Dr. Hasniah Aliah, dkk 2019

**Pengembangan Nanokeramik $Zn_xFe_{2-x}O_3:Mn$
Berbahan Lokal Sebagai Sensor Alkohol
Bersensitivitas Tinggi**

Penulis

Dr. Hasniah Aliah

Dr. Wahyudin Darmalaksana

Dr. Andhy Setiawan

Asti Sawitri, M.Si

Ryan Nur Iman, S.Si

Penasehat Ahli

Dr. Dani Gustaman Syarif, M.Eng

**PUSAT PENELITIAN DAN PENERBITAN
LP2M-UIN SUNAN GUNUNG DJATI BANDUNG
2019**

Halaman ini sengaja dikosongkan.

Kata Pengantar

Puji serta syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulisan buku dengan judul “Pengembangan Nanokeramik $Zn_xFe_{2-x}O_3:Mn$ Berbahan Lokal Sebagai Sensor Alkohol Bersensitivitas Tinggi“ telah diselesaikan dengan baik.

Indonesia memiliki penduduk dengan mayoritas Muslim dan merupakan negara terbesar di dunia yang memiliki penduduk muslim. Syariat Islam mewajibkan kita untuk mengonsumsi makanan/minuman yang halal dan baik. Agar terjamin kebolehan untuk dikonsumsi maka diperlukan suatu detektor. Hal ini menjadi tantangan bagi para peneliti khususnya di bidang material untuk berinovasi dalam menciptakan divais yang mampu mendeteksi kandungan gas yang terkandung dalam makanan/minuman tersebut. Sebagai contoh salah satu sampel gas yang sering terkandung dalam bahan konsumsi masyarakat adalah alkohol.

Materi yang diuraikan di dalam buku ini mencakup berbagai macam metode sintesis material berukuran nano sebagai lapisan aktif yang sangat penting pada sensor gas. Teknik fabrikasi sensor yang fokus pada penggunaan teknologi *screen printing* dan karakteristik sensor setelah

penambahan dopan Mn dan *chelating agent* juga dibahas dalam buku ini. Dimana *chelating agent* digunakan sebagai media untuk mengikat ion-ion logam.

Tentunya buku ini pasti tidak lepas dari kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun akan penulis terima dengan terbuka. Terakhir, semoga karya sederhana ini dapat bermanfaat untuk kemajuan rumpun ilmu yang bersangkutan terkhusus di bidang ilmu fisika material dan lebih luasnya untuk masyarakat Muslim.

Bandung, Oktober
2019

Penulis

Daftar Isi

	halaman
Kata Pengantar	v-vi
Daftar Isi	vii-viii
Daftar Gambar	ix-xi
Daftar Tabel	xii
Bab I Pendahuluan	
1.1 Kebutuhan Detektor Sebagai Tahap Awal Pencegahan makanan minuman Berkandungan Alkohol (Etanol)	1-4
1.2 Karakteristik Dasar Sensor Gas	4-9
1.3 State of The Art Sensor Gas	10-12
1.4 Kekayaan Mineral di Alam Indonesia (salah satu sumber logam oksida)	13-14
Bab II Sintesis Material Sensor	
2.1 Teknik-Teknik Sintesis Nanomaterial	18-23
2.2 Topik Khusus Sintesis Material ZnFe ₂ O ₃ :MnO dengan Metode Sol-Gel ...	23-29
Bab III Fabrikasi Film sebagai Lapisan <i>Sensing</i>	
3.1 Teknik Pembuatan Lapisan <i>Sensing</i>	32-34
3.2 Topik Khusus Fabrikasi Lapisan	34-36

ZnFe₂O₃:MnO dengan Metode Screen
Printing

Bab IV Karakteristik Sensor Gas

4.1 Pengujian Performa Sensor Gas	37-39
4.2 Karakteristik sensor gas etanol, formalin, aseton, oksigen, nitrogen, hidrogen	39-40
4.3 Topik Khusus Karakteristik Sensor Gas Etanol ZnFe ₂ O ₃ :MnO	41-55
4.4 Peluang Sensor Gas Etanol di Industri halal	56
Penutup	57
Daftar Pustaka	59-67
Lampiran	69-90

Daftar gambar

	halaman
Gambar 1. Ilustrasi makanan dan minuman berkadungan alkohol	2
Gambar 2. Ilustrasi gambar divais sensor gas	3
Gambar 3. Ilustrasi mekanisme penyerapan gas oleh lapisan sensor: a. Kondisi ambien; b. Kondisi Gas target (etanol)	6
Gambar 4. Serbuk material Sensor yang disintesis menggunakan teknik sol-gel	16
Gambar 5. Skematik sisntesis metode sol-gel	20
Gambar 6. Skematik metode hidrotermal	21
Gambar 7. Ilustrasi set alat elektrosinning	22
Gambar 8. Set alat dan bahan untuk pembuatan sensor gas	24
Gambar 9. Diagram alir sintesis material menggunakan teknik sol-gel	26
Gambar 10. Proses pelarutan campuran logam (kiri), campuran sudah membentuk gel (kanan)	27
Gambar 11. Serbuk material sensor yang disintesis menggunakan metode sol-gel dengan berbagai variasi komposisi	28
Gambar 12. Proses pelapisan menggunakan	33

teknik Spin Coating	
Gambar 13. Proses pelapisan pasta pada substrat: a) substrat alumina; b) screen diletakkan di atas substrat dan teteskan pasta kemudian sapu; c) substrat terlapis elektroda perak siap dikeringkan; d) pelapisan pasta keramik; e) keramik film tebal mentah; f) tata cara pelapisan	35
Gambar 14. Proses pembuatan devais sensor gas etanol	36
Gambar 15. a) Ilustrasi alat analisis performa sensor gas; b). Pengujian real performa sensor gas menggunakan alat gas sensing performance analyzer	39
Gambar 16. Performa sensor gas etanol $ZnFe_2O_3$: 5%Mn tanpa Chelating agent: a) karakteristik pada fungsi R-T; b) Respon sensor/ sensitivitas terhadap etanol	42
Gambar 17. Performa sensor gas etanol $ZnFe_2O_3$: 5%Mn dengan 0,5 asam sitrat: a) karakteristik pada fungsi R-T; b) Respon sensor/ sensitivitas terhadap etanol	44
Gambar 18. Performa sensor $ZnFe_2O_3$: 5%Mn dengan 0,75 asam sitrat: a) karakteristik pada	46

fungsi R-T; b) Respon sensor/ sensitivitas terhadap etanol 100-300 ppm

Gambar 19. ZnFe₂O₃: 5%Mn dengan 1 asam sitrat: a) karakteristik pada fungsi R-T; b) Respon sensor/ sensitivitas terhadap etanol 100-300 ppm .. 49

Gambar 20. ZnFe₂O₃: 0%Mn dengan 0,75 asam sitrat: a) karakteristik pada fungsi R-T; b) Respon sensor/ sensitivitas terhadap etanol 100-300 ppm .. 50

Gambar 21. ZnFe₂O₃: 2,5%Mn dengan 0,75 asam sitrat: a) karakteristik pada fungsi R-T; b) Respon sensor/ sensitivitas terhadap etanol 100-300 ppm .. 51

Gambar 22. ZnFe₂O₃: 0,75%Mn dengan 0,75 asam sitrat: a) karakteristik pada fungsi R-T; b) Respon sensor/ sensitivitas terhadap etanol 100-300 ppm

Daftar Tabel

	halaman
Tabel 1. Perubahan Sinyal Listrik berdasarkan jenis material semikonduktor dan jenis gasnya	6
Tabel 2. Perkembangan sensor gas beberapa tahun terakhir	12
Tabel 3. Perbandingan Respon sensor berbasis Zn dan Fe dengan penelitian-penelitian sebelumnya	55

Bab I

Pendahuluan

1.1 Kebutuhan Detektor Sebagai Tahap Awal Pencegahan Makanan/minuman Berkandungan Alkohol (etanol)

Allah SWT memerintahkan kita untuk mengkonsumsi makanan dan minuman yang halal dan baik (halalan thoyyibah). Dalam QS. Al Maidah ayat 91-92 dan QS. Al Baqarah ayat 219, terdapat larangan bagi umat Islam untuk meminum *khamr*, yang di masa sekarang *khamr* dapat berupa makanan atau minuman yang mengandung alkohol (etanol). Di samping itu, dalam QS. Al Maidah ayat 88, Allah juga menganjurkan kepada kaum muslimin untuk mengkonsumsi

makanan dan minuman yang tidak hanya halal tapi juga memenuhi syarat kesehatan. Salah satu syarat makanan dan minuman yang sehat adalah tidak menyebabkan bahaya atau kerusakan pada organ tubuh.

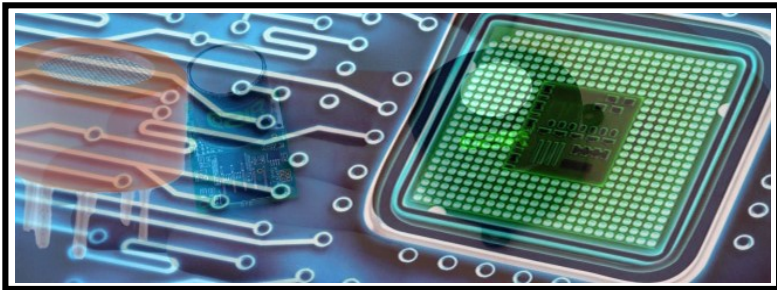


Gambar 1. Ilustrasi makanan dan minuman berkandungan alkohol [1].

Di Indonesia, keberadaan alkohol pada produk makanan dan minuman juga mendapatkan Fatwa dari Majelis Ulama Indonesia. Menurut Fatwa MUI: 10 tahun 2018 tentang Produk Makanan dan Minuman yang mengandung Alkohol/etanol bahwa jumlah maksimal kandungan etanol dalam produk makanan dan minuman (*hasil industri non khamr*) adalah kurang dari 0,5%.

Dewasa ini, sangat banyak kita jumpai produk olahan makanan dan minuman yang di dalamnya terdapat campuran alkohol. Untuk itu para konsumen muslim perlu berhati-hati

sebelum menggunakan produk-produk yang diragukan kehalalannya dan kesehatannya karena mengandung alkohol. Salah satu bentuk antisipasi hal tersebut adalah dengan melakukan pengecekan produk menggunakan sensor gas alkohol (ilustrasi pada Gambar 2).



Gambar 2. Ilustrasi gambar divais sensor gas.

Sensor gas merupakan suatu divais elektronik yang mampu mendeteksi keberadaan gas target. Pada sensor gas berbasis semikonduktor logam oksida, sensor gas bekerja dengan cara mengubah reaksi kimia menjadi sinyal listrik. Reaksi kimia terjadi antara lapisan sensitif divais dengan gas. Dengan memanfaatkan sifat semikonduktor maka lapisan sensitif akan merespon gas target dan memberikan sinyal listrik yang berbeda-beda tergantung jenis gas target dan konsentrasinya. Penjelasan mengenai mekanisme penyensangan lapisan sensor terhadap gas akan dijelaskan lebih rinci pada poin 1.2.

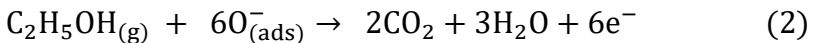
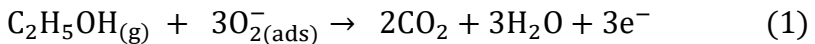
Sensor gas yang digunakan selama ini di Indonesia merupakan produk impor dengan harga yang mahal sehingga terjadi pemborosan devisa negara. Usaha untuk swasembada sensor gas harus dilakukan untuk mencegah terjadinya pemborosan serta meningkatkan daya saing bangsa dalam industri. Di samping itu, produksi sensor gas berbahan semikonduktor keramik dapat memberikan nilai tambah terhadap bahan baku lokal mineral yang melimpah di Indonesia.

1.2 Karakteristik Dasar Sensor Gas

Uraian definisi mengenai sensor gas sudah jelas dibahas di atas (poin 1.1). Untuk lebih jelasnya mengenai mekanisme penyensingan terhadap gas target dijelaskan di bawah ini. Dalam penyensingan gas oleh lapisan sensitif terjadi dua peristiwa.

Pertama pada saat sensor berada di lingkungan non gas target. Ketika temperatur kerja sensor telah dicapai, maka oksigen di lingkungan akan terserap oleh lapisan deplesi dan terikat sehingga membentuk ion-ion oksigen (O^- , O_2^- , O_2) sebagai elektron-elektron bebas. Kondisi ini akan membentuk lapisan penghalangan dengan ketinggian tertentu yang diinterpretasikan sebagai nilai resistansi awal sensor (resistansi listrik ambient) [2]. Peristiwa kedua adalah ketika sensor

berada dilingkungan yang mengandung gas target. Molekul gas target yang berada di lingkungan akan bereaksi dengan ion-ion oksigen bebas tadi yang kemudian direduksi hingga ion-ion oksigen kembali ke pita konduksi permukaan lapisan. Kondisi ini mengakibatkan keadaan potensial penghalang berubah dengan ketinggian tertentu yang diinterpretasikan sebagai nilai resistansi listrik pada keadaan gas target. Pada semikonduktor tipe-P dan gas target jenis pereduksi, oksigen hasil reduksi akan beranihilasi dengan *hole* yang berasal dari material semikonduktor tersebut. Sehingga pada suhu yang sama nilai resistansi listriknya akan lebih besar dibanding pada kondisi ambient. Mekanisme penyensingan gas oleh lapisan sensor untuk material semikonduktor tipe-P dan jenis gas pereduksi seperti pada Gambar 3. Sedangkan mekanisme reaksi kimia saat penyensingan pada sensor gas diuraikan melalui persamaan reaksi di bawah ini.

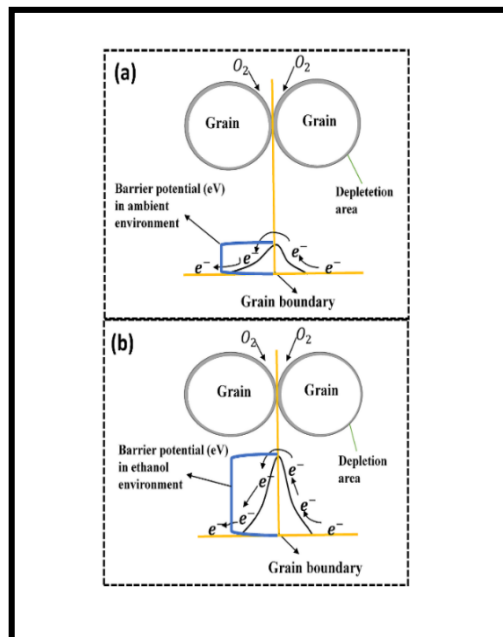


Lebih besar atau kecilnya nilai resistansi di lingkungan gas target dibanding dengan nilai resistansi di lingkungan ambient

bergantung pada suhu yang sama bergantung pada tipe material semikonduktor dan tipe gas target yang diserapnya. Lebih jelasnya dapat di lihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perubahan Sinyal Listrik berdasarkan jenis material semikonduktor dan jenis gasnya.

Jenis	Gas Pengoksidasi	Gas Pereduksi
Tipe- N	Resistansi naik	Resistansi turun
Tipe-P	Resistansi turun	Resistansi naik



Gambar 3. Ilustrasi mekanisme penyerapan gas oleh lapisan sensor: a. Kondisi ambien; b. Kondisi Gas target (etanol).

Menurut literatur terdapat 5 parameter yang dijadikan sebagai tolak ukur kualitas suatu sensor gas yang meliputi respon gas, waktu respon dan waktu pulih, selektivitas, batas deteksi, serta Stabilitas dan Kekuatan Pemulihan [3].

a. Respon Gas/ sensitivitas

Ukuran kualitas sensor salah satunya adalah respon/sensitivitas. Sensitivitas didefinisikan sebagai perbandingan antara resistansi listrik sensor di lingkungan yang diukur kandungannya dan resistansi listrik sensor di lingkungan gas referensi. Secara matematis sensitivitas diperlihatkan pada Persamaan 4 dan 6 untuk tipe-P [4] dan Persamaan 5 untuk tipe-N.

$$S = \frac{R_o - R_g}{R_g} \times 100\% \quad (4)$$

$$S = \frac{R_g - R_o}{R_g} \times 100\% \quad (5)$$

$$S = \frac{R_o}{R_g} \times 100\% \quad (6)$$

dengan, S adalah sensitivitas, R_r adalah resistansi listrik sensor di lingkungan referensi dan R_o adalah tahanan

listrik di lingkungan yang kandungan gasnya akan diukur.

b. Waktu Respon dan Waktu Pulih

Waktu respon adalah waktu yang diambil saat sensor mulai merespon gas target hingga dalam keadaan presentase nilai responnya stabil [5]. Lebih pendek waktu responnya, lebih baik sifat-sifatnya karena lebih cepat mendeteksi gas target. Untuk konsentrasi gas target yang lebih tinggi biasanya waktu responnya pendek. Waktu respon dipengaruhi oleh temperatur, tekanan gas analit dan rata-rata aliran gas target [6].

Sedangkan waktu pulih ialah waktu yang diambil setelah sensor mencapai nilai kestabilan hingga kembali ke nilai sinyal awal [7] yang mengindikasikan tidak ada lagi gas target yang terserap. Sensor yang baik memiliki waktu pulih yang pendek, sehingga dapat digunakan secara berulang dengan waktu yang cepat.

c. Selektivitas

Selektivitas merupakan kemampuan sensor gas dalam membedakan jenis-jenis gas target di bawah keadaan operasi yang sama [6]. Dari selektivitas akan diketahui tingkat pula kecocokan sensor pada gas tertentu yaitu dengan memperbandingkan nilai-nilai parameter

yang dicapai. Persamaan selektivitas ditunjukkan oleh Persamaan 6 [8].

$$Slk = \frac{S_i}{S_g} \quad (6)$$

Dimana, Slk adalah selektivitas, S_i adalah sensitivitas sensor gas pembanding, S_g sensitivitas sensor gas target.

d. Batas Deteksi

Kondisi dimana sensor dapat merespon/mendeteksi gas target dengan konsentrasi paling rendah disebut dengan batas deteksi [9].

e. Stabilitas dan Kemampuan pemulihan

Stabilitas sensor merujuk pada kemampuan sensor mempertahankan nilai respon yang sama bahkan dalam waktu yang panjang.

Semua parameter di atas bergantung pada ukuran partikel dan morfologi material sensor, jenis interaksi dan reaksi yang terjadi di antara gas dan material sensor, kondisi operasi sensor dan sifat kealamiannya [6]. Semua parameter tersebut dapat dicontrol dengan memahami konsep-konsep teknologi baru dan interaksi sensor gas dengan material lapisannya.

1.3 State of The Art Sensor Gas

Sensor gas dapat dikembangkan dari prekursor polimer, semikonduktor maupun campuran keduanya [10, 11, 12, 8, 13]. Seperti beberapa sensor gas yang dibuat dengan menggunakan teknologi keramik dengan bahan semikonduktor, diantaranya TiO_2 , ZnO , SnO_2 , Fe_2O_3 dan Mn_2O_3 telah dilakukan oleh beberapa peneliti dengan berbagai macam teknik.

Pada tahun 2017, kami telah berhasil mensintesis semikonduktor keramik Fe_2O_3 yang didoping dengan material oksida mangan MnO . Diperoleh hasil bahwa penambahan MnO pada material dasar sangat mempengaruhi sensitivitas dan suhu kerja optimum sensor gas [14]. Penelitian tersebut kami lanjutkan dengan menambahkan material ZnO sebagai agen dalam memperbaiki permukaan sensor yang sangat penting untuk meningkatkan sensitivitas sensor [15, 16].

Material semikonduktor keramik dari bahan dasar oksida Mn , Zn dan Fe yang telah disintesis di atas berstruktur komposit (A/B/C) di mana A pada penelitian ini adalah $\text{Mn}_x\text{Zn}_{2-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$, B adalah ZnFe_2O_4 dan C adalah Fe_2O_3 . Namun, hasil ini merupakan sebuah kemajuan karena telah berhasil membentuk spinel sebanyak 31,81% dengan perlakuan suhu pembakaran yang berbeda-beda pada 600-800 °C [17, 18]. Didapatkan sensitivitas dan suhu kerja optimum yang beragam.

Untuk memperoleh keramik sensor yang lebih baik, maka dilakukan pengkajian pembentukan keramik sensor berstruktur spinel yang berdasarkan beberapa literatur sangat baik untuk diaplikasikan sebagai sensor gas. Oleh karena itu perlu dilakukan studi lanjutan dengan menerapkan beberapa parameter baru. Untuk mendapatkan keramik sensor yang berstruktur spinel dapat dioptimasi dengan menggunakan metode sintesis sol-gel dengan menambahkan material *chelating agent* dan memberikan suhu kalsinasi, pembakaran dan waktu yang tepat. Disamping itu juga perlu dilakukan variasi jumlah material MnO dan ZnO sebagai doping. Karena menurut beberapa literatur penambahan ZnO akan membantu dalam pembentukan struktur spinel yang telah dijelaskan di atas. Berikut kami rangkum beberapa perkembangan teknologi sensor gas selama beberapa tahun terakhir.

Tabel 2. Perkembangan sensor gas beberapa tahun terkahir.

Tahun	Peneliti	Material semikonduktor keramik	Aplikasi sebagai sensor gas
2013	Rahman, dkk [19]	$MnCl_2 \cdot 4H_2O$; $ZnCl_2$	karsinogen, 4-nitrophenol
2014	Widodo [20]	In_2O_3	NO_2
2015	Kruefu, dkk	WO_3 ; Nb	SO_2
2015	You, dkk [21]	$(Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O)$,	etanol, formaldehida, Aseton, Ammonia
2016	Zhang, dkk [22]	$Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$, $La(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$	Metanol
2016	Hermida, dkk [23]	SnO_2	CO
2017	Kumar, dkk [24]	MnO	P-Nitrophenol
2017	Gildo-Ortiz, dkk	$Nd(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$	Propana dan CO
2017	Briones, dkk	SnO_2	Metanol
2018	Aliah, dkk [14]	Fe_2O_3 : Mn_2O_3	Etanol
2018	Aliah, dkk [17]	$MnZnFe_2O_4/Fe_2O_3$	Etanol
2019	Aliah, dkk [18]	$ZnFe_2O_4:Mn_2O_3$	Etanol

1.4 Kekayaan Mineral di Alam Indonesia (salah satu sumber logam oksida)

Selama ini, sensor gas yang beredar di Indonesia masih banyak menggunakan produk impor. Dengan memanfaatkan bahan baku yang melimpah di dalam negeri, kita dapat menfabrikasi sendiri semikonduktor keramik untuk diaplikasikan sebagai sensor gas. Dengan demikian, diharapkan negara Indonesia dapat melakukan swasembada sensor gas. Khusus untuk sensor gas alkohol, pengembangan teknologi ini sangat membantu masyarakat Indonesia yang mayoritas beragama Islam untuk memastikan bahan makanan yang mereka konsumsi halal dan *thoyyib* sesuai dengan ajaran Islam.

Oksida besi Fe_2O_3 banyak terkandung di dalam berbagai mineral yang berlimpah di Indonesia seperti hematit, yarosit, magnetit dan ilmenit. Fe_2O_3 dapat diperoleh dari mineral yarosit yang memiliki kandungan Fe_2O_3 sebanyak 93% [25]. Secara fisis mineral yarosit memiliki warna kopi yang sedikit kemerahan (merah bata). Mengandung beberapa logam oksida seperti besi oksida, MgO , MnO , dan beberapa oksida lainnya. Dimana dalam kandungannya mengandung presentase paling banyak molekul besi oksida.

Di samping itu, juga banyak mineral-mineral lainnya yang banyak ditemukan di wilayah-wilayah Indonmineral

seperti zeolit yang terdapat di 20 daerah di Indonesia. Dari 50 jenis zeolite hanya sekitar sembilan jenis saja yang sering ditemukan di antaranya, chabazit, analcim, klinoptilolit, heulandit, erionit, ferrierit, laumontit, mordenit dan phillipsit [26]. Mineral lainnya yang sangat melimpah di Indonesia adalah manganit, mineral ini mengandung presentase tertinggi unsur mangan. Mineral jenis ini dapat dijumpai di daerah Jawa Barat bagian selatan.

Dari beberapa mineral di atas, kami mencoba untuk menjadikan mineral yarosit agar memiliki nilai lebih dengan menjadikannya sebagai prekursor untuk memperoleh besi oksida (Fe_2O_3). Besi oksida tersebut dijadikan sebagai matriks dalam pembuatan keramik film tebal yang diaplikasikan untuk sensor gas alkohol. Pemanfaatan mineral ini selain akan menjadi nilai ekonomis juga meningkatkan kreatifitas para peneliti dalam memanfaatkan bahan-bahan lokal. Sehingga kebutuhan impor akan mampu ditekan dan meningkatkan swasembada agar menjadi bangsa yang mandiri.

Bab II

Sintesis Material Sensor

Material merupakan bahan utama (prekursor) dari setiap objek yang ingin kita buat. Pemilihan jenis sumber bahan adalah faktor penting yang harus diperhatikan. Karena berbeda sumber juga dapat mengakibatkan beda kemurnian. Seperti logam besi oksida yang berasal dari pasir besi akan berbeda dibandingkan yang berasal dari garam-garamnya semisal besi klorid (FeCl_3). Biasanya penggunaan material tertentu digunakan untuk mengubah bentuk kristal, menciptakan pori yang lebih banyak, mereduksi ukuran hingga diperoleh luas

permukaan yang lebih besar, dan alasan-alasan lainnya yang variatif. Gambar 4 merupakan salah satu contoh serbuk yang dihasilkan dari sintesis material menggunakan metode sol-gel dimana sumber Fe_2O_3 nya hasil ekstraksi dari mineral yarosit.



Gambar 4. Serbuk material Sensor yang disintesis menggunakan teknik sol-gel.

Penggunaan metode/pendekatan yang dilakukan untuk memperoleh material-material yang diinginkan juga tidak bisa sembarangan digunakan. Mungkin bisa saja suatu metode digunakan secara *random/try-error*, namun hasilnya juga bisa jadi tidak sesuai dengan apa yang kita harapkan. Di samping tebak menebak juga akan membuang banyak waktu jika tidak didasari dengan alasan ilmiah.

Penggunaan metode juga dapat memberikan struktur yang berbeda terhadap material. Metode-metode tertentu dapat membuat material yang strukturnya nanospindel [27], seperti bola [28], kubik/kotak kubus [29, 30], lempengan-lempengan [31]. Bentuk-bentuk struktur yang berbeda-beda memiliki keuntungannya tersendiri dan itu sering menginterpretasikan bidang aplikasi yang dituju. Oleh karena itu pemilihan material dan metode pembuatan/sintesisnya harus diperhatikan.

Sudah satu dekade topik penelitian nanomaterial ramai diminati oleh para peneliti khususnya di Indonesia. Ini disebabkan karena sifat-sifatnya yang lebih unggul jika dibandingkan material yang berukuran bulk atau mikrometer. Menurut Abdullah, M [32] material berukuran nanometer memiliki kelebihan seperti:

- Memiliki kekuatan mekanik yang lebih besar, sehingga dapat disinter pada suhu rendah.
- Memiliki titik lebur yang lebih rendah.
- Mengakibatkan mengecilnya konstanta dielektrik.
- Mampu mengecilkan celah pita energi karena pada bahan semikonduktor celah pita energinya bergantung pada ukuran material. Sehingga

elektron akan mudah menjadi elektron bebas dan menjadi mudah bergerak.

Dari kelebihan-kelebihan material berukuran nanometer di atas, dipastikan topik ini akan semakin diperdalam oleh para peneliti khususnya di bidang material. Beberapa teknik sintesis nanomaterial diuraikan seperti bahasan di bawah ini.

2.2 Teknik-Teknik Sintesis Nanomaterial

2.1.1 Miling

Teknik milling merupakan teknik konvensional dan dilakukan secara manual maupun otomatis. Teknik ini digunakan untuk menghasilkan material yang lebih kecil dari skala bulk yang disebut dengan top to down. Pada teknik milling yang manual seperti penggerusan oleh mortir. Sedangkan yang otomatis seperti peralatan yang digunakan untuk menggerus beras menjadi tepung.

Pada milling dengan menggunakan alat atau bisa kita sebut *automatic milling* biasa menggunakan penggerus yang berasal dari bahan keras seperti besi baja. Ada juga yang disebut dengan teknik *ball milling*. Yaitu menggunakan bola-bola kecil sebagai penggerusnya. Dengan memutar kontainer maka bola-bola tersebut akan saling bertumbukan. Tumbukkannya bola-bola tersebut digunakan untuk mereduksi

ukuran. Namun teknik ini sangat mempengaruhi puritas dari material.

2.1.2 Presipitasi

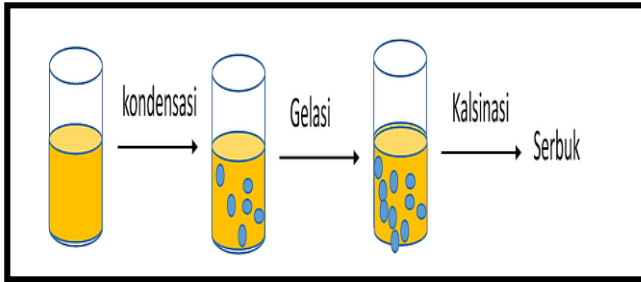
Teknik ini biasanya digunakan untuk mengekstraksi bahan tertentu yang berasal dari senyawa kompleks. Teknik ini cukup mudah namun membutuhkan waktu yang cukup lama. Secara tahapan teknik ini terdiri dari pelarutan senyawa kompleks oleh larutan asam, pengendapan oleh larutan basa, pencucian dengan menggunakan air distilasi dan penyaringan.

Masalah pengaturan nilai pH cukup sensitif dalam menggunakan metode ini. Karena bisa jadi endapan yang terjadi bukanlah bahan/material yang kita inginkan yang sangat mempengaruhi struktur partikel yang diinginkan.

2.1.3 Sol-gel

Metode sol-gel sering digunakan dalam menyintesis material berukuran nanometer. Metode ini memiliki tingkat puritas yang cukup tinggi dan sangat efektif. Terdiri dari dua tahapan: pertama, objek akan mengalami fase koloid atau bisa disebut sebagai sol dan kedua fase ageing atau gelation yaitu proses pembentukan gel. Jika produk akhir dari sintesis menginginkan dalam bentuk serbuk, maka setelah prose

pengelatan harus dikeringkan terlebih dahulu dan dikalsinasi. Skematik sisntesis menggunakan metode sol-gel ditunjukkan oleh Gambar 5.

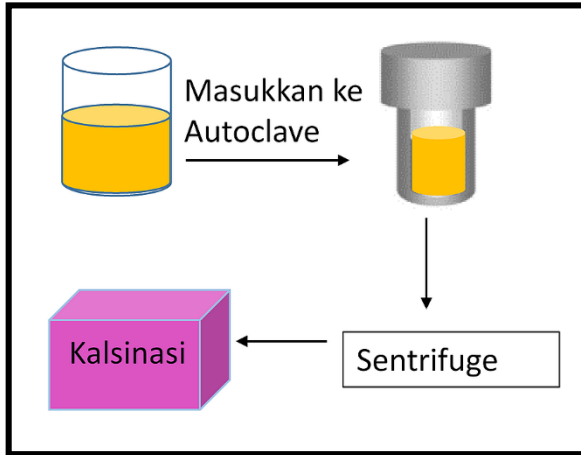


Gambar 5. Skematik sisntesis metode sol-gel.

Umumnya logam alkoksi digunakan sebagai prekursor dengan metode ini. Kondisi asam harus terjaga agar suspensi koloid tidak mengendal sebelum melalui proses gel. Hasil produk dengan teknik ini telah banyak digunakan dalam berbagai a plikasi seperti pada sensor gas NH_3 [33].

2.1.4 Hidrotermal

Metode ini menggunakan air distilasi sebagai pelarutnya sebagai nama tercantum dalam nama metodenya.

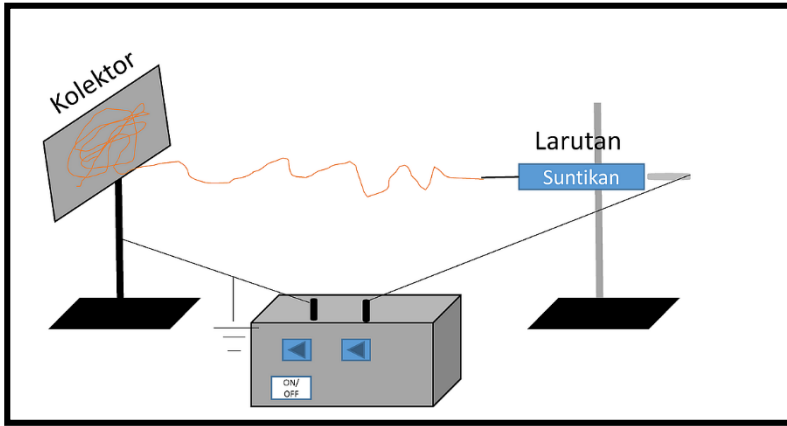


Gambar 6. Skematik metode hidrotermal.

Pada metode hidrotermal ada tiga tahapan, pertama pembuatan larutan dengan menggunakan bahan-bahan yang larut dalam air semisal dalam bentuk garam-garaman. Kemudian sampel dimasukkan ke dalam autoclave dan dipanaskan dengan suhu dan waktu sesuai pengaturan. Selanjutnya disentrifuge untuk memisahkan residu dan filtrat. Kemudian di annealing hingga cukup kering dan di kalsinasi untuk menyempurnakan reaksi. Skema hidrotermal nampak pada Gambar 6. Beberapa peneliti telah mengaplikasikannya untuk kebutuhan sensor gas seperti [27, 34].

2.1.5 Elektrospining

Beberapa literatur melaporkan bahwa metode elektrosinning sering digunakan karena tiga hal, diantaranya: keserbagunannya, simpel dan mampu menghemat biaya [35].



Gambar 7. Ilustrasi set alat elektrosinning.

Pada elektrosinning terdiri dari tiga komponen utama, diantaranya: Daya masukan bertegangan tinggi (1-50 kV), pemintal dan kolektor yang terbuat dari konduktor berfungsi untuk menampung produk. Gambar 7. ilustrasi alat elektrosinning. Umumnya tegangan yang sering digunakan adalah tegangan DC [36].

Sintesis menggunakan metode ini secara morfologi memiliki struktur serat-serat atau yang disebut dengan fiber. Hoang, dkk 2019 telah menggunakan metode ini dan

memperoleh struktur nanofiber dengan struktur kristal spinel tunggal. Penelitiannya diaplikasikan untuk mendeteksi gas H₂S [37].

2.3 Topik Khusus Sintesis Material ZnFe₂O₃:MnO dengan Metode Sol-Gel

Penelitian akan dilakukan menggunakan dua metode eksperimental murni yang mengacu pada penelitian di tahun sebelumnya dengan perubahan beberapa parameter. Eksperimen ini dibagi kedalam dua tahapan utama. Tahap pertama merupakan tahap preparasi serbuk Fe₂O₃. Prekursor yarosit digunakan sebagai sumber Fe₂O₃ diimana prekursor tersebut merupakan mineral alam asli Indonesia. Fe₂O₃ disintesis dengan teknik presipitasi (pengendapan) sehingga diperoleh serbuk Fe₂O₃. Sedangkan serbuk ZnO, mangan sulfat (dengan merk E-merck) dan *chelating agent* (urea, gula, asam sitrat, asam asetat) yang digunakan berasal dari komersil.

Tahap kedua merupakan tahap preparasi serbuk ZnFe_{2-x}O₄:Mn. Setelah diperoleh bahan dasar, eksperimen dilanjutkan dengan sintesis serbuk ZnFe_{2-x}O₄:Mn_x. Sintesis serbuk ZnFe_{2-x}O₄:Mn_x menggunakan metode sol-gel. Serbuk dibuat dengan berbagai variasi komposisi, suhu dan waktu kalsinasi. Dari

tahap ini akan diperoleh parameter sintesis serbuk $ZnFe_{2-x}O_4:Mn_x$ yang optimal.

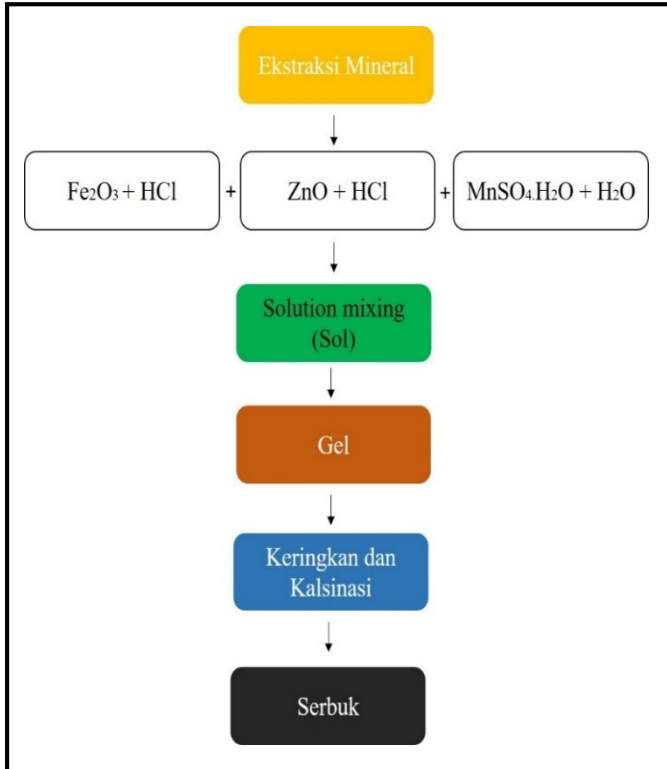
2.2.1 Alat dan Bahan

Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini meliputi: *magnetic stirrer*, ruang asam, timbangan analitis Mettler Toledo, tungku pemanas suhu rendah, tungku pemanas suhu tinggi Carbolite, screen berukuran T120, pH meter, multimeter, cawan 250 mL, spatula, pipet tetes, gelas beaker, suntikan, cawan 10 mL, seperangkat alat uji sifat listrik fungsi suhu.

Adapun bahan yang akan digunakan diantaranya, mineral yarisit sebagai sumber Fe_2O_3 , mangan sulfat $MnSO_4 \cdot H_2O$, serbuk ZnO (teknis), asam sitrat, asam asetat, urea, akuades, HCl, NH_4OH 10%, *etil selulosa dan terfineol alfa* untuk membuat *organic vehicle* (OV), pasta perak dan substrat alumina. Beberapa alat dan bahan nampak pada Gambar 8.



Gambar 8. Set alat dan bahan untuk pembuatan sensor gas (lengkapnya di bagian lampiran).



Gambar 9. Diagram alir sintesis material menggunakan teknik sol-gel.

2.2.2 Metode Eksperimen

Skematik sintesis material sensor menggunakan metode sol-gel nampak pada Gambar 9. Penelitian diawali dengan preparasi prekursor dari bahan lokal. Mineral yarosit diekstraksi menggunakan metode presipitasi. Mineral dilarutkan menggunakan pelarut HCl dan diendapkan

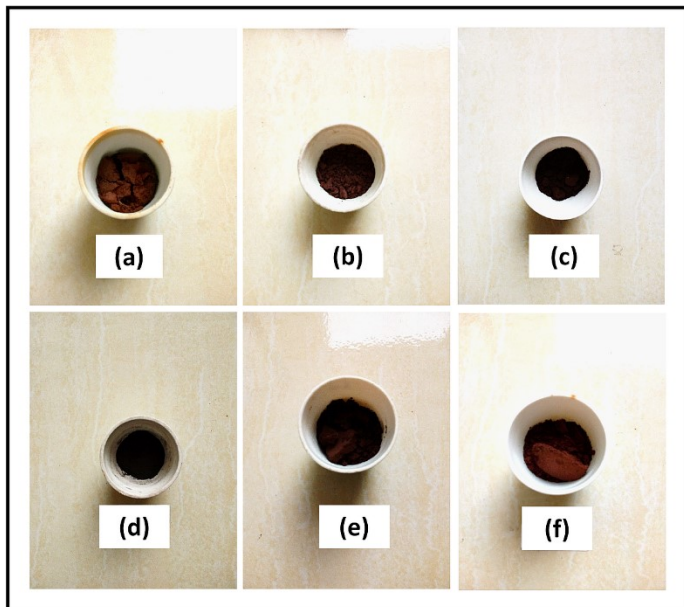
menggunakan NH_4OH . Selanjutnya disaring untuk didapatkan endapannya dan membuang sisa-sisa garam yang terlarut. Endapan dikeringkan dengan suhu $110\text{ }^\circ\text{C}$ dan dilanjutkan dengan kalsinasi pada suhu 600°C selama 2 jam untuk mendapatkan serbuk Fe_2O_3 dan benar-benar bebas dari kandungan air.



Gambar 10. Proses pelarutan campuran logam (kiri), campuran sudah membentuk gel (kanan).

Serbuk Fe_2O_3 dan ZnO masing-masing dilarutkan dengan pelarut HCl sedangkan mangan sulfat dialrutkan dengan menggunakan akuades. Larutan FeCl_3 MnSO_4 dan ZnCl_2 kemudian dicampurkan, diaduk dan dipanaskan

menggunakan *hot plate magnetic stirrer* hingga larutan terlihat homogen. Larutan campuran dipanaskan pada suhu 75 °C hingga membentuk gel. Gel yang terbentuk kemudian dikeringkan pada *hot plate*. sampel yang telah kering selanjutnya dikalsinasi pada suhu 600 °C selama 3 jam. Proses ini untuk menghilangkan kadar air yang masih tersisa dalam sampel dan menyempurnakan reaksi. Sampel kemudian digerus dengan mortar sampai halus, sehingga diperoleh nanopartikel $Mn_xZnFe_{2-x}O_4$. Serbuk-serbuk yang telah kering nampak pada Gambar 11.



Gambar 11. Serbuk material sensor yang disintesis menggunakan metode sol-gel dengan berbagai variasi komposisi.

Gambar 11.a) serbuk dengan variasi ZnFe_2O_4 + asam sitrat (1 : 0,75); b) ZnFe_2O_4 + 2,5% Mn + asam sitrat (1 : 0,75); c) ZnFe_2O_4 + 5% Mn + asam sitrat (1 : 0,75); d) ZnFe_2O_4 + 5% Mn (1 : 0); e) ZnFe_2O_4 + 5% Mn + asam sitrat (1 : 0,5); f) ZnFe_2O_4 + 5% Mn + asam sitrat (1 : 1). Nilai yang dimaksud di dalam kurung dari setiap sampel merupakan perbandingan jumlah total mol logam dan jumlah asam sitrat.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

Bab III

Fabrikasi Film sebagai

Lapisan *Sensing*

Lapisan sensing merupakan salah satu fungsi penting dalam kajian sensor gas. Kelima parameter kualitas sensor sangat bergantung pada lapisan sensitif ini. Beberapa teknik fabrikasi yang sering digunakan dijelaskan pada uraian dibawah ini.

3.1 Teknik Pembuatan Lapisan *Sensing*

3.1.1 Atomic layer deposition

Atomic layer deposition (ALD) merupakan sub class teknik dari *chemical vapour deposition* (CVD). Umumnya ALD menggunakan dua bahan kimia. Metode ini telah dikembangkan oleh menjadi Atomic Layer Epytaxi (ALE) [38].

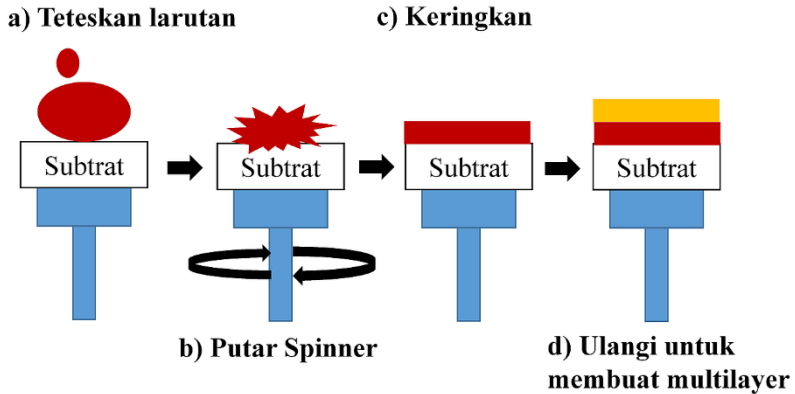
Dalam pembuatan lapisan sensor, ALD telah digunakan oleh Fan, dkk 2017 [39], dengan prekursor menggunakan besi oksida dan seng oksida yang telah berhasil mensintesisnya menjadi material yang respon terhadap gas H₂S. Teknik ini mengacu kepada teknik yang telah dilakukan oleh [40].

Fan, dkk berhasil mendapatkan lapisan dengan ketebalan 5 nm. Dengan teknik ini Fan juga telah memperbaiki sifat sensing pada sensor gas yang dibuatnya.

3.1.2 Spin coating

Pada tahun 2006 Leitte dkk telah berhasil mengontrol ketebalan lapisan tipis menggunakan material SnO₂ dengan metode *spin coating*. Substrat yang digunakan terbuat dari silikon yang berfungsi sebagai kontainer untuk deposisi lapisan. Proses deposisi lapisan dilakukan menggunakan kecepatan konstan *spinner* pada suhu ruang [41, 42]. Pelarut

yang digunakan adalah *organic vehicle* (OV) yaitu campuran dari etil selulosa dan terpineol alfa. Pelarut ini sering digunakan untuk membuat pasta.



Gambar 12. Proses pelapisan menggunakan teknik Spin Coating.

Proses pelapisan material pada substrat diilustrasikan oleh Gambar 12. Material yang akan dilapiskan pada substrat terlebih dahulu diteteskan di atas substrat yang menempel pada spinner. Kemudian diputar dalam waktu dan kecepatan tertentu bergantung kebutuhan kita. Kemudian dikeringkan. Untuk membuat lapisan yang multilayer ulangi langkah-langkah di atas dari awal.

3.1.3 Screen printing

Teknik pelapisan menggunakan screen printing seperti melapiskan cat pada baju atau yang sering dikenal dengan teknik penyablonan. Letakan substart di atas permukaan yang rata kemudian tempelkan screen (ukuran mesh bergantung pada ketebalan yang diinginkan) di atas substrat. Teteskan material yang akan dilapiskan di atas screen dan gunakan squeeze untuk menyapu material agar menempel dan memberikan pola pada substrat.

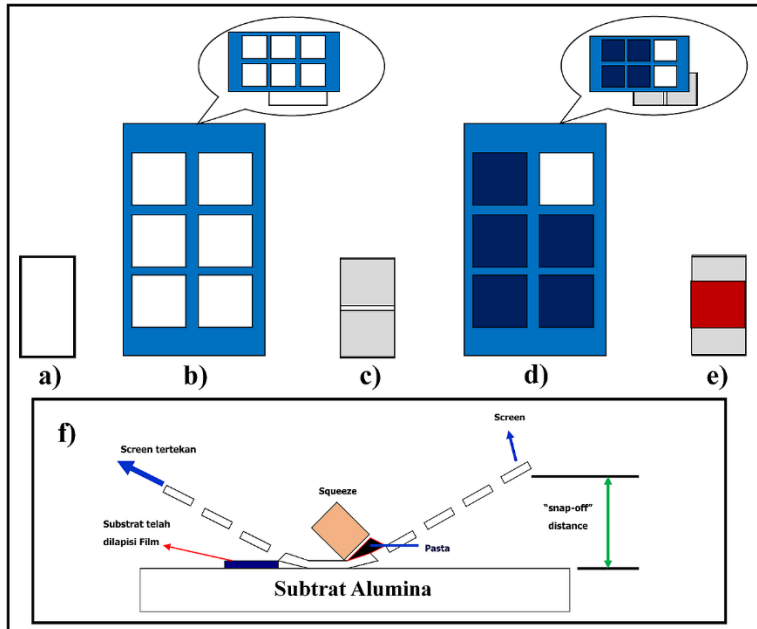
Pada teknik ini material harus dalam bentuk pasta. Pelarut yang sering digunakan ialah *organic vehicle*. Teknik ini akan menjadi bahasan pokok dalam buku ini karena metode ini digunakan untuk tahap pembuatan sensor gasnya. Beberapa peneliti juga sudah melakukan metode ini [43, 18, 44].

3.2 Topik Khusus Fabrikasi Lapisan $\text{ZnFe}_2\text{O}_3:\text{MnO}$ dengan Metode Screen Printing

Dalam fabrikasi Lapisan $\text{ZnFe}_2\text{O}_3:\text{MnO}$ ini kami menggunakan metode screen printing. Metode cukup mudah untuk digunakan, sederhana dan peralatan mudah untuk diperoleh dan yang paling penting adalah ekonomis [45].

Fabrikasi lapisan $\text{ZnFe}_2\text{O}_3:\text{MnO}$ sebagai lapisan sensing pada sensor gas yaitu melalui tahapan-tahapan berikut ini:

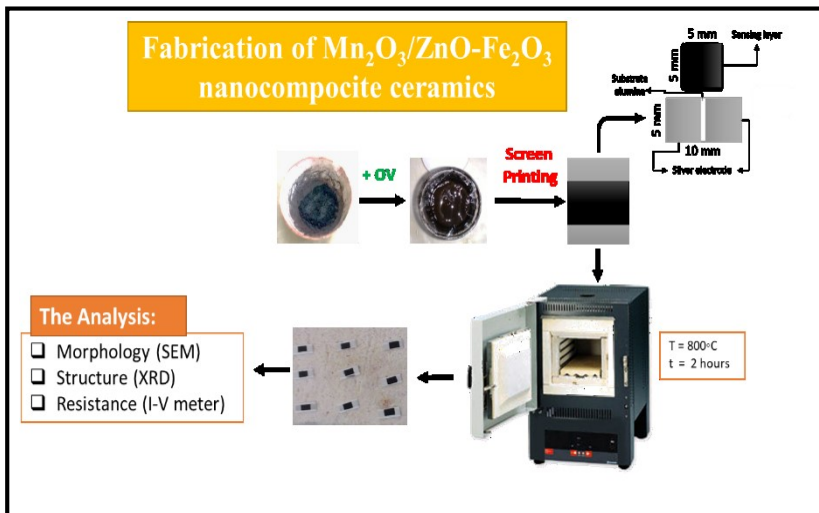
serbuk nanopartikel $\text{ZnFe}_2\text{O}_3:\text{MnO}$ atau $\text{Mn}_x\text{ZnFe}_{2-x}\text{O}_4$ dicampur dengan *organic vehicle* yang terbuat dari 10% etil selulose dan 90% terpineol alfa. Campuran di aduk hingga homogen untuk membentuk pasta dan dibiarkan selama 1 hari.



Gambar 13. Proses pelapisan pasta pada substrat: a) substrat alumina; b) screen diletakkan di atas substrat dan teteskan pasta kemudian sapu; c) substrat terlapis elektroda perak siap dikeringkan; d) pelapisan pasta keramik; e) keramik film tebal mentah; f) tata cara pelapisan.

Substrat alumina sebelumnya dilapisi pasta perak terlebih dahulu yang dibakar pada suhu $600\text{ }^\circ\text{C}$ selama 10 menit. Elektroda perak berfungsi sebagai penghantara listrik.

Kemudian pasta $Mn_xZnFe_{2-x}O_4$ dilapiskan menggunakan *screen printing* pada substrat alumina yang telah dilapisi elektroda. Sehingga diperoleh film tebal mentah. Film tebal kemudian dibakar pada suhu $600\text{ }^\circ\text{C}$ selama dua jam. Proses pembuatan dan desain divais sensor nanokeramik $Mn_xZnFe_{2-x}O_4$ seperti pada Gambar 13 dan 14.



Gambar 14. Proses pembuatan divais sensor gas etanol [46].

Bab IV

Karakteristik Sensor Gas

Sebelum membahas tentang karakteristik sampel, berikut ini akan dibahas terlebih dahulu cara-cara pengambilan data pada sampel serta fungsi kerja alat yang dipakai untuk mengetahui karakteristik sampel yang diuji.

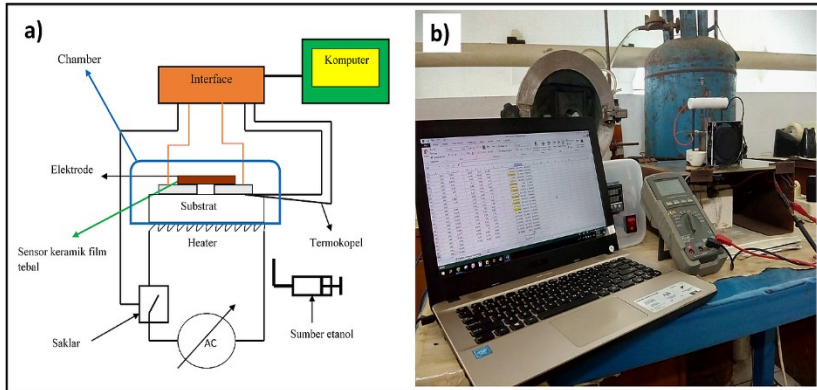
4.1 Pengujian Performa Sensor Gas

Pengukuran tahanan listrik keramik film tebal divais sensor pada berbagai konsentrasi alkohol dilakukan

menggunakan alat yang diilustrasikan oleh Gambar Alat tersebut terdiri dari heater, termostat, kawat pemanas (nikel), termokopel, multimeter, saklar, chamber 5L, trafo dan dua buah batang elektroda. Alat tersebut bekerja dengan fungsi resistansi terhadap suhu (R-T). Sampel diletakkan pada permukaan atas tabung yang terbuat dari *stainless*. Kedua batang elektroda pada alat disentuhkan pada masing-masing lapisan elektroda pada sampel yang berfungsi sebagai pengukur nilai resistansi listrik. Chamber kemudian diletakkan diatas permukaan alat sehingga membentuk sistem tertutup. Ketika saklar pada kondisi ON maka arus listrik akan diubah menjadi panas oleh kawat pemanas dan mengalirkan aliran panas ke *heater* dan dilanjutkan ke substrat. Lapisan sensor akan menyerap gas yang ada di dalam *chamber* dan memberikan sinyal listrik ke batang elektroda yang akan diteruskan ke multimeter (interface). Sehingga didapatkan data resistansi listrik pada besar suhu tertentu. Pembacaan suhu dilakukan oleh termostat. Data suhu dan resistansi listrik dicatat setiap kenaikan suhu sebesar 5 °C.

Gambar 15.a). merupakan ilustrasi alat analisis performa sensor gas. Setelah data listrik diperoleh dilakukan analisis data, sehingga didapatkan nilai sensitivitas sensor dari masing-masing variasi. Hasil analisis dibandingkan dan

ditemukan parameter sintesis dan fabrikasi sensor yang optimum.



Gambar 15. a) Ilustrasi alat analisis performa sensor gas; b). Pengujian real performa sensor gas menggunakan alat gas sensing performance analyzer.

4.2 Karakteristik sensor gas etanol, aseton, nitrogen, hidrogen

Setiap sensor gas memiliki karakternya masing-masing yang bergantung pada berbagai macam faktor, seperti material prekursor, teknik sintesis, material doping, teknik fabrikasi lapisan dan pembuatan sensor. Dimana semua itu mempengaruhi terhadap struktur yang akan dibentuk oleh atom-atom pada material tersebut.

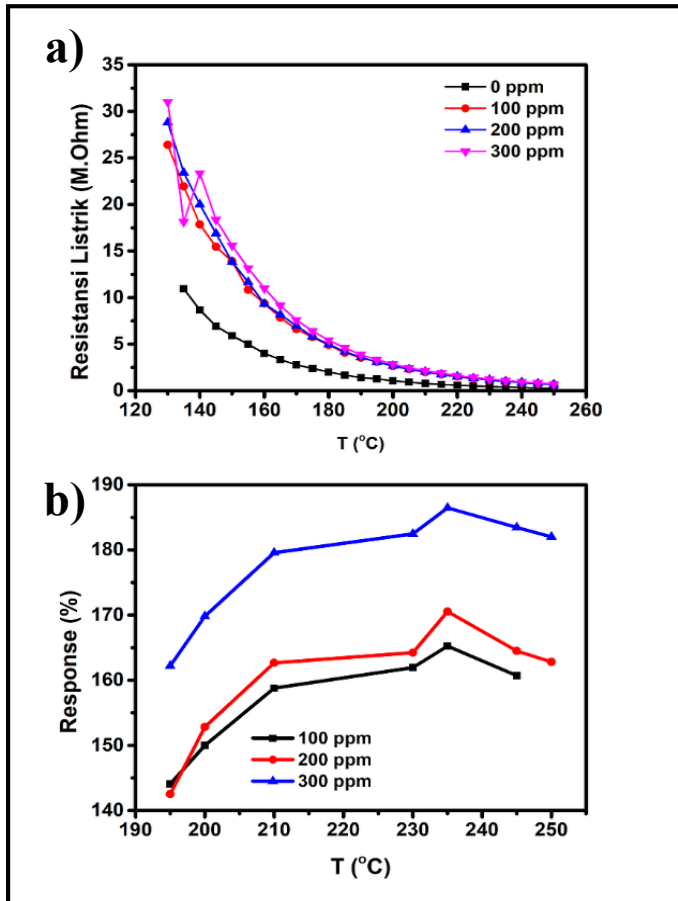
Seperti yang telah dilakukan oleh Tang, dkk [33] menggunakan bahan besi oksida dan seng oksida. Dimana sensor match dengan gas target yang berjenis NH_3 dengan metode yang digunakan adalah hidrotermal. Dengan bahan yang sama Arshak dan Gaidan [43] berhasil membuat sensor yang mampu mendeteksi gas propanol pada temperatur ruang. Namun metode yang digunakan untuk menyintesis materialnya screen printing dan menghasilkan struktur yang berbeda.

Yu, dkk [47] membuat sensor gas yang mampu mendeteksi aseton dan etanol dengan bahan yang sama pula yaitu besi oksida dan seng oksida. Si, dkk melaporkan penelitiannya yang berhasil membuat sensor gas yang peka terhadap beberapa gas terkhusus gas etanol [48]. Yu, dkk melaporkan bahwa material ZnO yang dibuatnya berhasil mendeteksi gas etanol [21]. Dan Ansari, dkk [49] berhasil membuat sensor yang peka terhadap gas H_2 .

Dapat kita simpulkan bahwa penggunaan bahan meskipun sama namun teknik sintesis dan/atau fabrikasinya berbeda maka kecocokan terhadap gas target yang digunakan akan berlainan. Ini berhubungan dengan struktur yang dibentuk oleh atom-atomnya.

4.3 Topik Khusus Karakteristik Sensor Gas Etanol ZnFe₂O₃:MnO

Karakteristik sensor gas yang telah kami buat nampak pada Gambar-gambar dibawah ini. Dari data performa gas yang sudah didapatkan dianalisis untuk diketahui pengaruh penambahan presentase Mn, penambahan presentase asam sitrat sebagai *chelating agent*. Gambar 16.a) merupakan karakteristik dari sensor, dimana semakin meningkatnya suhu semakin menurun secara eksponensial nilai resistansi listriknya. Nilai resistansi di lingkungan ambient lebih kecil dibanding dengan nilai resistansi di lingkungan yang mengandung gas etanol. Dilihat dari karakteristik perbedaan nilai resistansinya, sensor ini termasuk ke dalam material semikonduktor jenis-P.



Gambar 16. Performa sensor gas etanol $ZnFe_2O_3: 5\%Mn$ tanpa Chelating agent: a) karakteristik pada fungsi R-T; b) Respon sensor/ sensitivitas terhadap etanol.

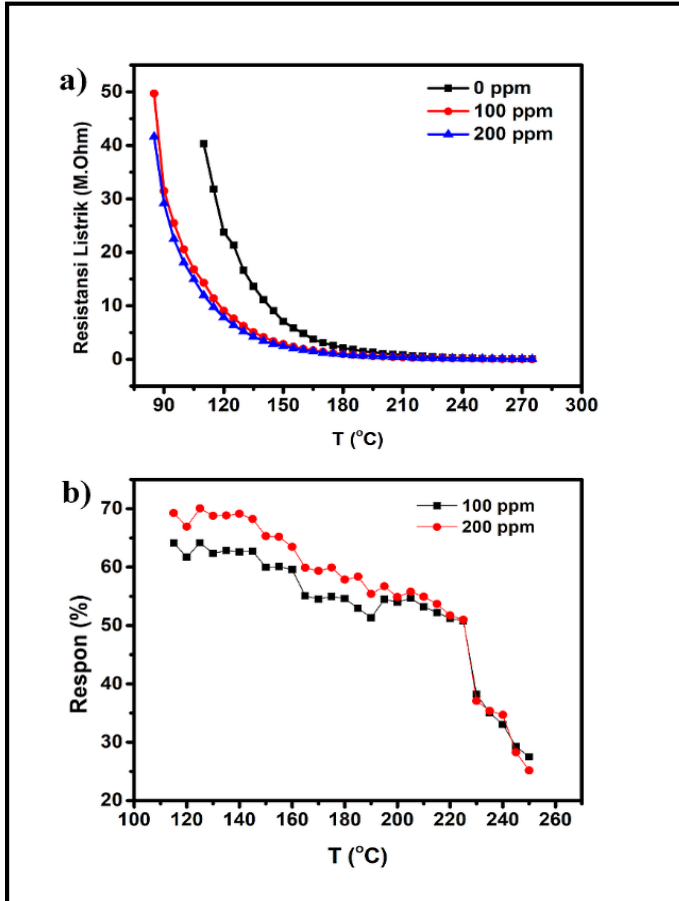
Kemudian pada Gambar 14.b) nampak karakteristik respon sensor. Data ini diplot setelah dihitung menggunakan Persamaan 4. Sebenarnya dari perbedaan jarak grafik resistansi

ambient dan mengandung gas etanol dapat diketahui langsung kemungkinan besar responnya. Semakin lebar jarak(celahnya) maka respon sensor akan semakin besar. Setelah dilakukan perhitungan besar respon sensor yang terukur lebih dari 100% atau jika tidak dalam bentuk presentase pada titik optimum nilainya sebesar 1,86 pada temperatur 235 °C ketika konsentrasi etanol yang diberikan sebesar 300 ppm. Hasil ini sangat signifikan terhadap kemajuan dari penelitian kami sebelumnya, dimana hanya mampu mencapai presentase respon kurang dari 90% atau 0,9 [14, 17, 18, 46].

Nilai responnya akan berubah jika memakai Persamaan 7 seperti berikut $R = R_g/R_a$. Nilai respon untuk sensor ini sebesar 72,57. Dimana sensor yang kami buat ini lebih tinggi dalam merespon jika dibandingkan dengan beberapa literatur sensor gas etanol berbasis Zn+Fe [50, 51, 52]. Dan ini menunjukkan bahwa metode yang dipakai efektif untuk meningkatkan kemampuan respon sensor terhadap gas target.

Performa sensor $ZnFe_2O_3:5\%Mn$ yang ditambah asam sitrat ditunjukkan oleh Gambar 17. Dimana perbandingan mol antara jumlah mol dari logam yang dicampur dengan asam sitrat memiliki perbandingan berturut-turut 1 : 0,5. Asam sitrat digunakan sebagai *chelating agent* yang berfungsi untuk

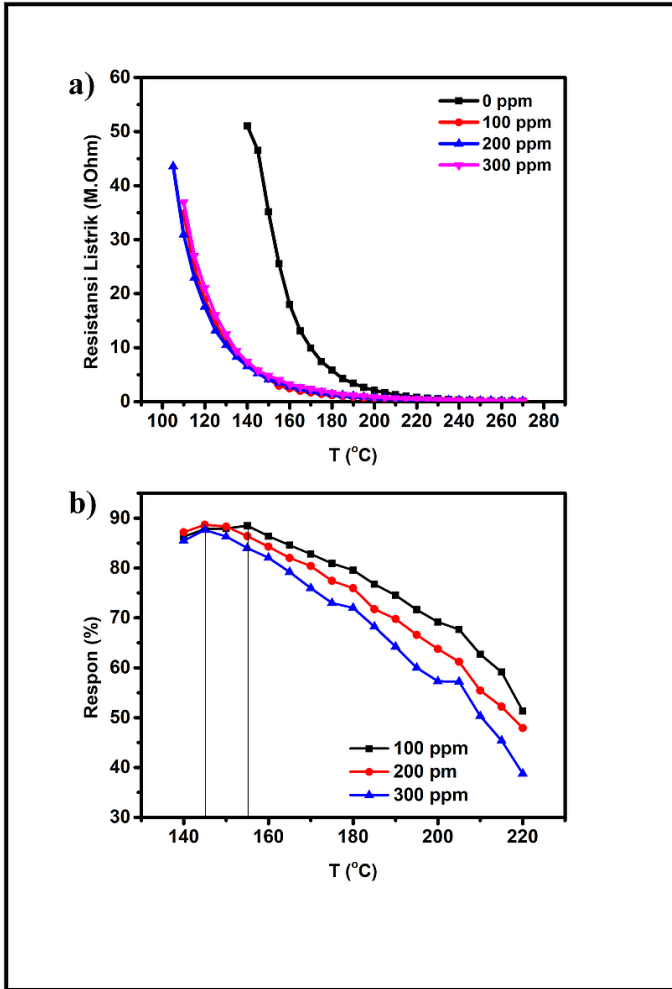
mengikat ion-ion logam. Sehingga memungkinkan reaksi yang terbentuk antara logam-logam berlangsung sempurna.



Gambar 17. Performa sensor gas etanol $ZnFe_2O_3: 5\%Mn$ dengan 0,5 asam sitrat: a) karakteristik pada fungsi R-T; b) Respon sensor/ sensitivitas terhadap etanol.

Berbeda dengan sampel yang dibuat tanpa menggunakan asam sitrat. Karakter sampel ini memiliki nilai resistansi di lingkungan gas etanol yang lebih kecil daripada di lingkungan ambient. Ini menunjukkan bahwa penambahan asam sitrat berpengaruh terhadap pembentukan reaksi di antara ion-ion logam pada material yang digunakan. Di samping itu sampel memiliki respon di titik maksimum sebesar 70% pada suhu 125 °C dengan perlakuan konsentrasi sebesar 200 ppm. Meskipun pada titik grafik yang kedua respon mengalami penurunan dan pada titik ketiga kembali naik dimana titik ketiga merupakan titik optimum yang mampu dicapai sensor sampel kedua ini. Pada titik kedua grafik dimungkinkan masih ada molekul air yang belum menguap, sehingga ikut mempengaruhi terhadap penyensingan yang dilakukan oleh sensor. Sebagaimana kita ketahui bahwa titik didih air adalah 100 °C dan agar uapnya hilang maka diperlukan suhu yang lebih dari itu.

Memiliki respon yang tinggi dan suhu operasi yang rendah merupakan salah satu komponen penting untuk membuat sensor yang berkualitas baik. Sampel ini tentunya memiliki kedua komponen tersebut meskipun belum diketahui tingkat kestabilan serta kecepatan responnya.



Gambar 18. Performa sensor ZnFe₂O₃: 5%Mn dengan 0,75 asam sitrat: a) karakteristik pada fungsi R-T; b) Respon sensor/sensitivitas terhadap etanol 100-300 ppm.

Pada Gambar 18. dapat dilihat bahwa pada keadaan ambient, multimeter mulai membaca sinyal listrik pada suhu 140 °C. Sedangkan pada lingkungan yang mengandung gas etanol, sensor merespon pada suhu yang lebih rendah. Meskipun pada grafik telihat sedikit berhimpit namun jika dalam bentuk data digital nilainya cukup jauh (orde ohm).

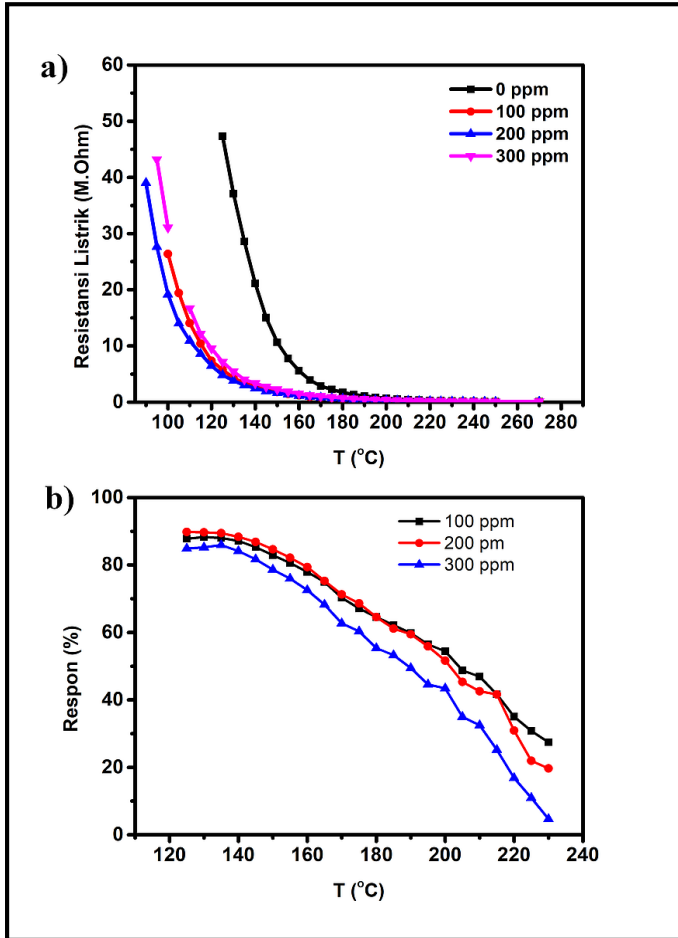
Pada Gambar 18.b sensor memperlihatkan bahwa pada setiap perlakuan konsentrasi gas yang berbeda menghasilkan titik optimum yang berbeda. Titik optimum merupakan titik tertinggi yang dicapai pada saat sensor merespon secara maksimal. Sampel ini memiliki titik optimum pada suhu 155 °C dengan respon sebesar 88,48% pada konsentrasi 100 ppm etanol. Sedangkan pada konsentrasi 200 dan 300 ppm etanol, sensor merespon secara maksimum pada suhu yang sama yaitu 145 °C dengan persen respon sebesar 88,69% dan 87,62% secara berturut-turut. Kecenderungan yang tidak signifikan menunjukkan bahwa adanya kemungkinan gas lain yang terdeteksi atau sensor mengalami kejenuhan akibat pengukuran yang terus berulang-ulang dalam kondisi dipanaskan.

Sampel ke-4 ditunjukkan oleh Gambar 19 yang dibuat dengan perbandingan jumlah total mol logam dan asam sitrat berturut sebesar 1:1. Dari Gambar 19.a) nampak pada konsentrasi 0, 100 dan 200 ppm, nilai resistansi konsintan pada

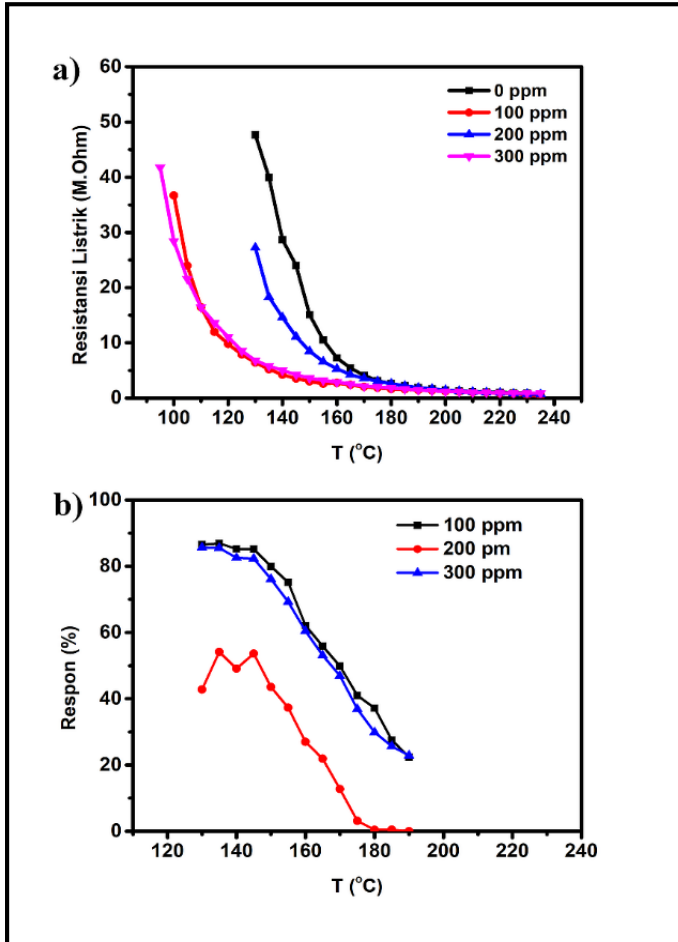
suhu yang sama yaitu semakin kecil. Namun ada anomali pada konsentrasi etanol 300. Nilai resistansinya lebih besar dibanding pada saat konsentrasi 100-200 ppm. Sehingga jika diinterpretasikan dalam tingkat respon akan memiliki respon yang paling kecil. Respon tersebut ditunjukkan oleh Gambar 19 b).

Gambar 20.b) perbandingan total mol $ZnFe_2O_3$: 0%Mn dengan asam sitrat sebesar 1 : 0,75. Memiliki kecenderungan yang hampir mirip dengan sampel ke empat terjadi anomali pada saat pemberian konsentrasi etanol sebesar 300 ppm.

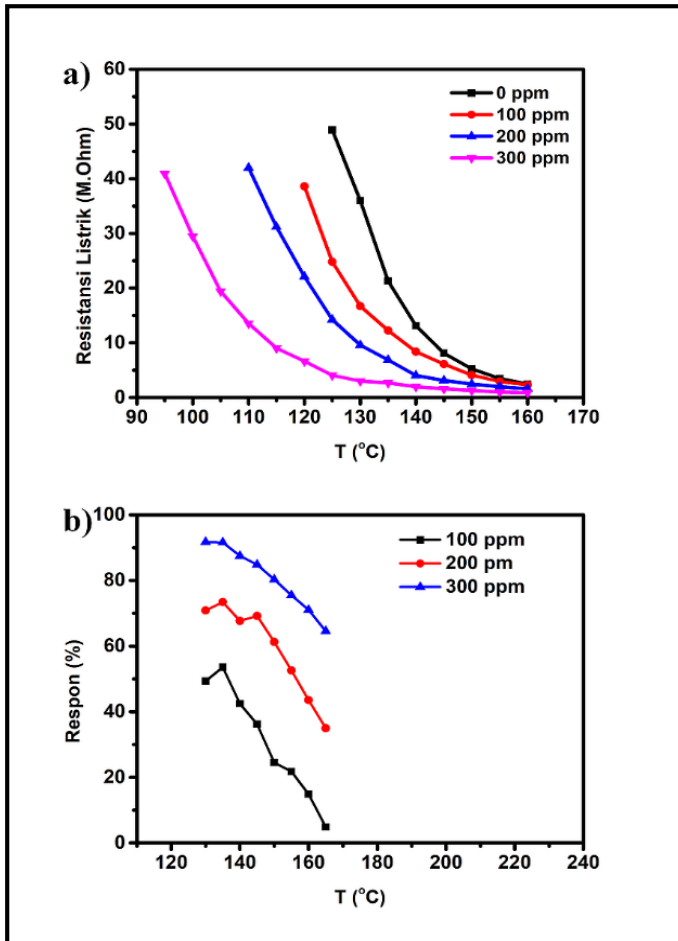
Lebar celah respon setiap konsentrasi berbeda seperti pada Gambar 20b. Celah pada konsentrasi 200 ke 300 dan 100 ppm sangat lebar. Dimana konsentrasi 100 ppm etanol memiliki respon paling tinggi pada suhu 135 °C.



Gambar 19. ZnFe₂O₃: 5%Mn dengan 1 asam sitrat: a) karakteristik pada fungsi R-T; b) Respon sensor/ sensitivitas terhadap etanol 100-300 ppm.



Gambar 20. ZnFe₂O₃: 0%Mn dengan 0,75 asam sitrat: a) karakteristik pada fungsi R-T; b) Respon sensor/ sensitivitas terhadap etanol 100-300 ppm.

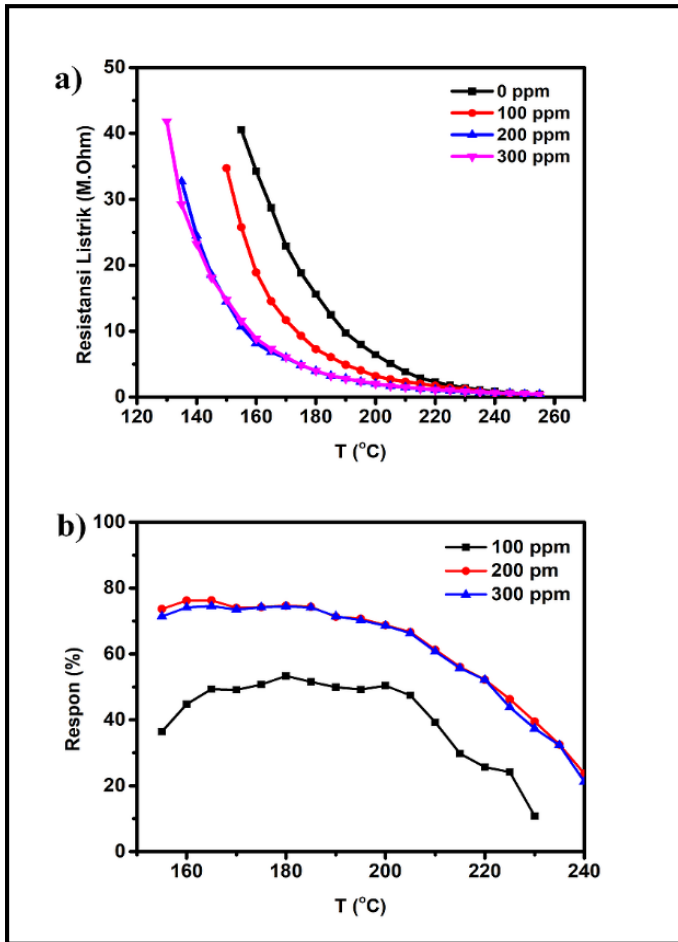


Gambar 21. ZnFe₂O₃: 2,5%Mn dengan 0,75 asam sitrat: a) karakteristik pada fungsi R-T; b) Respon sensor/ sensitivitas terhadap etanol 100-300 ppm.

Gambar 21. adalah sampel ke enam dengan penambahan 0,75 mol asam sitrat terhadap campuran ZnFe₂O₃:

2,5%Mn. Dari Gambar 21.a) menginterpretasikan bahwa kecenderungan sensor dinilai baik karena signifikan terhadap perubahan nilai resistansi pada berbagai konsentrasi etanol. Semakin konsentrasi meningkat maka semakin kecil sinyal listrik yang dihantarkan. Yang menunjukkan bahwa semikonduktor yang dibuat memiliki tipe-N. Sampel ini memiliki titik optimum pada temperatur yang sama yaitu 135 °C dengan besar respon masing-masing sebesar 42,4%, 57,69%, dan 87,46%. Hal ini menunjukkan bahwa sampel dengan variasi ini telah memeneuhi beberapa variasi parameter kualitas sensor gas.

Sedangkan sampel ketujuh, $\text{ZnFe}_2\text{O}_3: 0,75\% \text{Mn}$ dengan 0,75 mol asam sitrat. Karakteristiknya sama seperti beberapa sampel sebelumnya dimana ada anomali ketika diberi umpan gas etanol sebesar 300 ppm. Kondisi ini juga bisa diduga oleh efek pemanasan dari pengukuran pada konsentrasi sebelumnya. Karena etanol mudah untuk menguap, sehingga ketika substrat atau sistem di dalam masih dalam keadaan panas, secara tidak langsung akan mengakibatkan penguapan etanol lebih cepat sebelum kondisi sistem pengukuran dalam keadaan tertutup. Karakteristik dan performa respon sensor gas etanol $\text{ZnFe}_2\text{O}_3: 0,75\% \text{Mn}$ dengan 0,75 asam sitrat dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. ZnFe₂O₃: 0,75%Mn dengan 0,75 asam sitrat: a) karakteristik pada fungsi R-T; b) Respon sensor/ sensitivitas terhadap etanol 100-300 ppm.

Berdasarkan hasil analisis di atas menunjukkan bahwa pengaruh penambahan material Mn pada matriks $ZnFe_2O_4$ mempengaruhi pada besar respon sensor dan suhu operasi. Hubungan antara penambahan Mn terhadap respon sensor dan suhu operasi bersifat nonlinear dimana komposisi optimum pada sensor gas yang dibuat ini ialah 2.5%Mn. Yang juga menunjukkan kecenderungan yang paling signifikan dibanding dengan sampel variasi mol Mn lainnya.

Sedangkan pada suhu operasi, perbedaan %mol Mn yang ditambahkan tidak terlalu signifikan. Suhu operasi dari penambahan Mn berkisar diantara 125-155 °C dan jika dibandingkan dengan penelitian kami sebelumnya, ini jauh lebih baik.

Selain itu efek penambahan jumlah asam sitrat berpengaruh pada respon dan jenis tipe semikonduktor. Kemungkinan kehadiran asam sitrat mengubah struktur partikel-partikel yang terbentuk. Bisa jadi menjadi penghalang antara matriks dan doping sehingga membentuk struktur komposit atau bahkan bisa jadi doping mangan yang dipakai memiliki +2 ion (Mn^{+2}) sehingga pada saat substitusi dengan matrik muatan pembawanya tidak berubah. Sensor yang tidak ditambahkan asam sitrat memiliki respon yang paling tinggi (sampel satu) namun suhunya tinggi di antara sampel-sampel

lainnya yaitu 240 °C. Sedangkan pembahan asam sitrat suhu kerjanya diantara 125-155 °C.

Di bawah ini terdapat tabel (Table 3) yang berisi beberapa rangkuman dari beberapa peniliitan sebelumnya untuk dibandingkan dengan sensor gas etanol yang telah kami buat.

Tabel 3. Perbandingan Respon sensor berbasis Zn dan Fe dengan penelitian-penelitian sebelumnya.

No	Lapisan Sensitif	T (°C)	Etanol (ppm)	Respon	Ref.
1.	ZnO/ α -Fe ₂ O ₃	240	200	15	[16]
2.	ZnFe ₂ O ₄ + A. Sitrat 0,75	145	200	2,2	Penelitian ini
3.	ZnFe ₂ O ₃ : 5%Mn	235	200	53,8	Penelitian ini
4.	α -Fe ₂ O ₃ /ZnO	220	300	±23	[51]
5.	ZnFe ₂ O ₃ : 0,25%Mn + Asam Sitrat 0,75	135	300	3,09	Penelitian ini
6.	ZnO/ZnFe ₂ O ₄	25	1000	~17	[43]
7.	α -Fe ₂ O ₃ /ZnO/Au	280	100	200	[2]

4.4 Peluang Sensor Gas Etanol ZnFe₂O₃:MnO berbasis Bahan Lokal di Industri halal

Setelah menganalisis hasil perbandingan sensor gas etanol yang kami buat dengan menggunakan bahan lokal sebagai sumber Fe₂O₃ memiliki berbagai macam keunggulan seperti respon tinggi dan suhu operasi rendah. Kedua komponen tersebut merupakan faktor penting dalam parameter kualitas sensor. Hal ini mengindikasikan bahwa sensor yang telah kami buat memiliki peluang untuk diaplikasikan di industri halal. Meskipun masih terdapat beberapa parameter yang harus dikaji seperti stabilitas, batas deteksi dan kecepatan sensor saat mendeteksi gas target.

Apa lagi sekarang banyak negara-negara yang sedang fokus pada industri halal pada berbagai bidang terkhusus pada makanan dan minuman. Salah satunya negara Jepang, mereka bermaksud untuk menghadirkan berbagai macam menu agar bisa dinikmati oleh turis terkhusus yang beragama islam. Dan tentunya ini akan mampu meningkatkan pendapatan produsen secara ekonomi.

Oleh karena itu kajian tentang sensor gas etanol berbasis bahan lokal ini harus lebih bisa difokuskan agar tercapai kemandirian bangsa dalam menciptakan inovasi-inovasi teknologi.

Penutup

Penelitian sensor gas berbasis bahan lokal (mineral yarosit) telah selesai dilakukan. Mengkaji pengaruh persen mol doping (Mn) dan penambahan jumlah *chelating agent* terhadap respon dan suhu kerja sensor. Dimana *chelating agent* yang digunakan adalah asam sitrat.

Pengaruh penambahan Mn terhadap sampel lebih signifikan terhadap suhu operasi sensor yang karakternya bersifat nonlinear. Pengaruh penambahan asam sitrat lebih berpengaruh terhadap respon sensor. Dimana sampel yang dibuat tanpa asam sitrat memiliki respon yang lebih besar. Penambahan asam sitrat juga berpengaruh terhadap struktur penyusun partikel yang mengubah material semikonduktor dari tipe-P menjadi tipe-N.

Perbedaan nilai antara nilai resistansi ketika di lingkungan ambien dan yang mengandung gas etanol menunjukkan bahwa sensor responsif terhadap jenis gas yang berbeda. Meskipun perlu pengkajian lebih lanjut seperti stabilitas, waktu respon dan batasan konsentrasi gas etanol yang bisa dideteksi oleh sensor. Hal tersebut menjadi sinyal bahwa sangat besar peluang untuk bisa dijadikan prototipe. Sehingga pada akhirnya kita akan mampu berswasembada untuk mencapai kemandirian bangsa dalam inovasi teknologi.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

Daftar Pustaka

- [1] Liputan6dotcom, "Liputan6," 20 Desember 2018. [Online]. Available: <https://m.liputan6.com/regional/read/3852254/minuman-tradisional-beralkohol-khas-indonesia>. [Accessed 4 November 2019].
- [2] Y. Chen, H. Li, Q. Ma, Q. Che, J. Wang, G. Yang and P. Wang, "ZIF-8 derived hexagonallike α -FeO₃/ZnO/Au nanoplates with tunable surface heterostructures for superior ethanol gas-sensing performance," *Applied Surface Science*, pp. 1-34, 2018.
- [3] G. F. Fine, L. e. M. Cavanagh, A. Afonja and R. Binions, "Metal Oxide Semi-Conductor Gas Sensors in Environmental Monitoring," *sensors*, vol. 10, pp. 5469-5502, 2010.
- [4] E. Oh, H.-Y. Choi, S.-H. Jung, S. Cho, j. C. Kim, K.-H. Lee, S.-W. Kang, J. Kim, J.-Y. Yun and S.-H. Jeong, "High-performance NO₂ gas sensor based on ZnO nanorod grown by ultrasonic irradiation," *Sensor and Actuators B: Chemical*, vol. 141, pp. 239-243, 2009.
- [5] H.-U. Lee, K. Ahn, S.-J. Lee, J.-P. Kim, H.-G. Kim, S.-Y. Jeong and C. Cho, "ZnO nanobarbed fibers: fabrication, sensing NO₂ gas, and their sensing mechanism," *Appl. Phys. Lett*, vol. 98, p. 193114, 2011.
- [6] R. Kumar, O. Al-Dossary, G. Kumar and A. Umar, "Zinc Oxide Nanostructures for NO₂ Gas-Sensor Applications:

A review," *Nano-Micro Lett*, vol. 7, pp. 97-120, 2015.

- [7] S. Ozturk, N. Kilinc and Z. Z. Ozturk, "Fabrication of ZnO nanorods for NO₂ sensor applications: effect of dimensions and electrode position," *J. Alloys Compd*, vol. 581, pp. 196-201, 2013.
- [8] M. Chougule, S. Sen and V. Patil, "Fabrication of nanostructured ZnO thin film sensor for NO₂ monitoring," *Ceram. Int*, vol. 38, pp. 2685-2692, 2012.
- [9] Y. Sahin, S. Ozturk, N. Kilinc, A. Kosemen, M. Erkovane and Z. Ozturk, "Electrical conduction and NO₂ gas sensing properties of ZnO nanorods," *Appl. Surf. Sci*, vol. 303, pp. 90-96, 2014.
- [10] H. Bai and G. Shi, "Gas Sensors based on conducting polymers," *Sensors*, vol. 7, pp. 267-307, 2007.
- [11] S. L. Bai, J. Guo, X. Shu, X. Xiang, R. X. Luo, D. Q. Li, A. F. Chen and C. C. Liu, "Surface Functionalization of Co₃O₄ Hollow Spheres with ZnO Nanoparticles for Modulating Sensing Properties of Formaldehyde," *Sensor and Actuators B*, vol. 245, pp. 359-368, 2017.
- [12] X. Chang, X. Wu, Y. Guo, Y. Zhao, J. Zheng and X. Li, "SnSO₄ modified ZnO Nanostructure for Highly sensitive and Selective Formaldehyde Detection," *Sensors and Actuators B*, pp. 1-22, 2017.
- [13] N. Al-Hardan, M. J. Abdullah, A. A. A and H. Ahmad, "ZnO Gas Sensor for Testing Vinegar Acid Concentrations," *Sains Malaysiana*, vol. 40 (1), pp. 67-70,

2011.

- [14] H. Aliah, D. G. Syarif, R. N. Iman, A. Sawitri, M. Sanjaya, M. N. Subkhi and P. Pitriana, "Semiconductor Ceramic $Mn_xFe_{2-x}O_3-Fe_2O_3$ from Natural Minerals as Ethanol Gas Sensors," in *ICAMST*, Makassar, 2018.
- [15] J. Gröttrup, V. Postica, N. Ababii, N. Lupan, C. Zamponi, D. Meyners, Y. K. Mishra, V. Sontea, I. Tiginyanu and R. Adelung, "Size-dependent UV and gas sensing response of individual $Fe_2O_3-ZnO:Fe$ micro- and nanowire based devices," *J. Alloys Comp*, vol. 2017, pp. 920-925, 2017.
- [16] B. Zhang, W. Fu, X. Meng, A. Ruan, P. Su and H. Yang, "Synthesis and enhanced gas sensing properties of flowerlike $ZnO/\alpha-Fe_2O_3$ core-shell nanorods," *Ceramics International*, 2017.
- [17] H. Aliah, D. G. Syarif, R. N. Iman, W. Darmalaksana, A. Setiawan, A. Sawitri and A. Malik, "Preliminary Studies of $[Mn]_{((x))} [Zn]_{((2-x))} FeO_{4-x}$ ($x=0$ dan 0.1) Thick Film Semiconductors as An Ethanol Gas Sensor," in *AASEC 2018*, Bandung, 2018.
- [18] H. Aliah, R. N. Iman, A. Sawitri, D. G. Syarif, A. Setiawan, W. Darmalaksana and A. Malik, "The optimization of $ZnFe_2O_4/Mn_2O_3$ -based nanocomposite ceramic fabrication utilizing local minerals as an ethanol gas detector," *Materials Research Express*, vol. 6, pp. 1-7, 2019.
- [19] M. M. Rahman, G. Gruner, M. S. Al-Ghamdi, M. A. Daous, S. B. Khan and A. M. Asiri, "Chemo-sensors

- development based on low-dimensional codoped Mn₂O₃-ZnO nanoparticles using flat-silver electrodes," *Chemistry Central Journal*, vol. 7, pp. 1-12, 2013.
- [20] S. Widodo, "Teknologi Proses Pembuatan Divais Sensor Gas NO₂ Dengan Lapisan Aktif In₂O₃," *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, vol. 10, pp. 69-86, 2014.
- [21] You, H. Song, J. Qian, Y. Sun and X. Jia, "Controlled Synthesis of Hierarchically Assembled Porous ZnO Microspheres with Enhanced Gas-Sensing Properties," *Journal of Nanomaterials*, pp. 1-9, 2015.
- [22] Y. Zhang, J. Zhang, Z. Zhu and Q. Liu, "A sensor device with specific recognition sites for," in *Global Conference on Polymer and Composite Materials (PCM 2015)*.
- [23] I. D. P. Hermida, G. Wiranto, Hiskia and R. Nopriyanti, "Fabrication of SnO₂ based CO gas sensor device using thick film technology," in *8th International Conference on Physics and its Applications (ICOPIA)*, 2016.
- [24] V. Kumar, K. Singh, S. Panwar and S. K. Mehta, "Green synthesis of manganese oxide nanoparticles for the electrochemical sensing of p-nitrophenol," *Int Nano Lett*, vol. 7, pp. 123-131, 2017.
- [25] E. Suhendi, H. Novia and D. G. Syarif, "Karakteristik Listrik Film Fe₂O₃ dengan Variasi Ketebalan yang dibuat dari Mineral Lokal di Atmosfir Udara dan Atmosfer Alkohol," vol. VII, pp. 180-194, 2013.
- [26] Kusdarto, "Potensi Zeolit Di Indonesia," *Journal of*

Indonesia Zeolites, vol. 7, pp. 78-87, 2008.

- [27] J. Zhang, X. Liu, L. Wang, T. Yang, X. Guo, S. Wu, S. Wang and S. Zhang, "Synthesis and gas sensing properties of α -Fe₂O₃@ZnO core-shell nanospindles," *Nanotechnology*, vol. 22, pp. 1-8, 2011.
- [28] C. M. Hung, N. D. Hoa, N. V. Duy, N. V. Toan, D. T. T. Le and N. V. Hieu, "Synthesis and gas-sensing characteristics of α -Fe₂O₃ hollow balls," *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, pp. 45-50, 2016.
- [29] X. N. Li, L. Z. Yuan, J. H. Wang, L. H. Jiang, A. I. Rykov, D. L. Nagy, C. Bogdan, M. A. Ahmed, K. Y. Zhu, G. Q. Sun and W. S. A. Yang, "Copolymer-Co-Morphology" Conception for Shape-Controlled Synthesis of Prussian Blue Analogues and as-Derived Spinel Oxides," *Nanoscale*, vol. 8, pp. 2333-2342, 2016.
- [30] H. Song, Y. Sun dan a. X. Jia, "Hydrothermal synthesis, growth mechanism and gas sensing properties of Zn-doped α -Fe₂O₃ microcubes," *Ceramics International*, pp. 1-8, 2015.
- [31] Y. Xiao, C. G. Hu, L. Qu, C. W. Hu and M. H. Cao, "ThreeDimensional Macroporous NiCo2O4 Sheets as a Non-Noble Catalyst," *Chem. - Eur. J.*, vol. 19, pp. 14271-14278, 2013.
- [32] M. Abdullah, Pengantar Nanosains, Bandung: ITB Press, 2008.

- [33] H. Tang, M. Yan, H. Zhang, S. Li, X. Ma, M. Wang and D. Yang, "A selective NH₃ gas sensor based on Fe₂O₃–ZnO nanocomposites at room temperature," *Sensors and Actuators B Chemical*, vol. 114, pp. 910-915, 2006.
- [34] R. Zhang, L. Wang, J. Deng, T. Zhou, Z. Lou and T. Zhang, "Hierarchical structure with heterogeneous phase as high performance sensing materials for trimethylamine gas detecting," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 220, pp. 1224-1231, July 2015.
- [35] R. Ramaseshan, S. Sundarajan, R. Jose and S. Ramakrishna, "Nanostructured ceramics by electrospinning," *J. Appl. Phys*, 2007.
- [36] H. Fan, T. Zhang, X. Xu and N. Lv, "Fabrication of N-type Fe₂O₃ and P-type LaFeO₃ nanobelts by electrospinning and determination of gas-sensing properties," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 153, pp. 83-88, 2011.
- [37] N. V. Hoang, C. M. Hung, N. D. Hoa, N. V. Duy and N. V. Hieu, "Facile on-chip electrospinning of ZnFe₂O₄ nanofiber sensors with excellent sensing performance to H₂S down ppb level," *Journal of Hazardous Materials*, 2018.
- [38] E. Ahvenniemi, A. Akbashev, S. Ali, M. Bechelany, M. Berdova, S. Boyadijev, D. C. Cameron, R. Chen and M. Chubarov, "Review Article: Recommended reading list of early publications on atomic layer deposition," *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and*

Films, vol. 35, p. 010801, 2016.

- [39] K. Fan, J. Guo, L. Cha, Q. Chen and a. J. Ma, "Atomic layer deposition of ZnO onto Fe₂O₃ nanoplates for enhanced H₂S sensing," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 698, pp. 336-340, 2017.
- [40] X. F. Li, X. B. Meng, J. Liu, D. S. Geng, Y. Zhang, M. N. Banis, Y. L. Li, J. L. Yang, R. Y. Li, X. L. Sun, M. Cai and M. W. Verbrugge, *Adv. Funct. Mater.*, vol. 22, pp. 1647-1654, 2012.
- [41] E. d. Leitte, "Controlled Thickness Deposition of Ultrathin Ceramic Films by Spin Coating," *Journal of American Ceramic Society*, vol. 89, pp. 2016-2020, 2006.
- [42] H. Pujiarti, "SnO₂ untuk Aplikasi Sensor Gas," in *Pengantar Nanoteknologi*, A. Mikrajuddin, Ed., Bandung, 2010, pp. 142-154.
- [43] K. Arshak and I. Gaidan, "Gas sensing properties of ZnFe₂O₄/ZnO screen-printed thick films," *Sensors and Actuators B*, vol. 111-112, p. 58-62, 2005.
- [44] B. Morten, M. Prudenziati and A. Taroni, "Thick Film Technology and Sensors," *Sensors and Actuators*, vol. 4, pp. 237-245, 1983.
- [45] R. A. Zargar, S. U. D. Khan, M. S. Khan, M. Arora and A. K. Hafiz, "Synthesis and Characterization of Screen Printed Zn_{0.97}Cu_{0.03}O Thick Film for Semiconductor Device Applications," *Physics Research International*, pp. 1-6, 2014.

- [46] H. Aliah, R. N. Iman, A. Sawitri, D. G. Syarif, A. Setiawan, W. Darmalaksana and A. Malik, "Electrical characteristic, crystal structure, and morphology of local mineral based nanocomposite ceramics for sensing applications," AASEC 2019, Bali, 2019.
- [47] A. Yu, J. Qian, H. Pan, Y. Cui, M. Xu, L. Tu, Q. Chai and d. X. Zhou, "Micro-lotus constructed by Fe-doped ZnO hierarchically porous nanosheets: Preparation, characterization and gas sensing property," *Sensors and Actuators B*, vol. 158, pp. 9-16, 2011.
- [48] S. Si, C. Li, X. Wang, Q. Peng and Y. Li, "Fe₂O₃/ZnO core-shell nanorods for gas sensors," *Sensors and Actuators B*, vol. 119, pp. 52-56, 2006.
- [49] S. Ansari, P. Boroojerdian, S. Sainkar, R. Karekar, R. Aiyer and d. S. Kulkarni, "Grain size effects on H₂ gas sensitivity of thick film resistor using SnO₂ nanoparticles," *Thin Solid Films*, vol. 295, pp. 271-276, 1997.
- [50] X. Fu, B. Zhang, H. Liu, B. Zong, L. Huang, H. Bala and Z. Zhang, "Synthesis and improved gas sensing properties of ZnO/a-Fe₂O₃ microflowers assembled with nanosheets," *Materials Letters*, vol. 196, pp. 149-152, 2017.
- [51] C. L. Zhu, Y. J. Chen, R. X. Wang, L. J. Wang, M. S. Cao and X. L. Shi, "Synthesis and enhanced ethanol sensing properties of α -Fe₂O₃/ZnO heteronanostructures," *J. Sens. Actuators B*, vol. 140, pp. 185-189, 2009.
- [52] G. Sun, S. Zhang, Y. Li, F. Qi, Z. Chen and Z. Zhang,

"Core-shell ZnO/SnO₂ Nanorods: two-step Synthesis and Enhanced Ethanol Sensing Performance," *J. Curr. Nanosci*, vol. 11, p. 1, 2015.

Halman ini sengaja dikosongkan.

Lampiran-lampiran

1. Perhitungan konversi massa ke ppm

Gas etanol yang digunakan dalam karakterisasi sifat listrik keramik film tebal berbasis $ZnFe_{2x}O_3:Mn$ berasal dari cairan etanol 96% volume sehingga untuk mengetahui konsentrasi gas etanol diperlukan konversi cairan etanol menjadi konsentrasi gas etanol. Adapun langkah – langkah untuk mengkonversi cairan etanol menjadi konsentrasi gas etanol adalah sebagai berikut:

- a. Mengubah % volume ke % berat, karena cairan etanol yang digunakan berasal dari 96% volume maka: $\rho_e =$ *rho etanol*, $\rho_a =$ *rho air*

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$96\% = \frac{\frac{m_e}{\rho_e}}{\frac{m_e}{\rho_e} + \frac{m_a}{\rho_a}}$$

$$96\% = \frac{\frac{m_e}{0,7893}}{\frac{m_e}{0,7893} + \frac{m_a}{1}}$$

$$\frac{m_e}{0,7893} = 96\% \left(\frac{m_e}{0,7893} + \frac{m_a}{1} \right)$$

$$1,2669m_e = 0,96 (1,2669m_e + m_a)$$

$$1,2669m_e = 1,2162m_e + 0,96m_a$$

$$1,2669m_e - 1,2162m_e = 0,96m_a$$

$$0,0507m_e = 0,96m_a$$

$$m_a = \frac{0,0507}{0,96} m_e$$

$$m_a = 0,0528m_e$$

maka, % berat etanolnya adalah:

$$\% \text{ berat} = \frac{m_e}{m_e + m_a} \times 100\%$$

$$\% \text{ berat} = \frac{m_e}{m_e + 0,0528m_e} \times 100\%$$

$$\% \text{ berat} = \frac{m_e}{1,0528m_e} \times 100\%$$

$$\% \text{ berat} = 0,9498 \times 100\%$$

$$\% \text{ berat} = 94,98\%$$

jadi massa etanolnya adalah 94,98% dari berat cairan etanol tersebut.

- b. Menimbang satu tetes cairan etanol, massa rata-rata satu tetes cairan etanol yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,001 g,
- c. Mengubah massa cairan etanol ke bentuk konsentrasi gas etanol (ppm) seperti berikut ini:
 - Mengubah ke bentuk konsentrasi gas etanol, maka:
 $m_e = 94,98\% \cdot 0,001 \text{ g}$
 $m_e = 0,9498 \cdot 0,001 \text{ g}$

$$m_e = 0,0009498 \text{ g}$$

- Menghitung volume gas etanol dalam satu tetes, sebagai berikut:

$$V_e = \text{mol} \cdot V_m$$

$$V_e = \frac{m_e}{\text{mol}} \cdot V_m$$

dengan $V_m = \text{Volume gas RTP} = 24,4 \text{ L/mol}$

$$V_e = \frac{0,0009498}{46,07} \cdot 24,4 \text{ L}$$

$$V_e = 0,0005030415 \text{ L}$$

maka,

$$\text{ppm} = \frac{V_e}{V_{\text{perekator}}} \cdot 10^6$$

$$\text{ppm} = \frac{0,0005030415 \text{ L}}{5 \text{ L}} \cdot 10^6$$

$$\text{ppm} = 100 \text{ ppm}$$

jadi konsentrasi gas etanol ketika diberikan satu tetes cairan etanol adalah **100 ppm**.

- d. Apabila diberikan dua tetes cairan etanol maka konsentrasi gas etanol tersebut adalah **200 ppm**, dan apabila diberikan tiga tetes cairan etanol maka konsentrasi gas etanol tersebut adalah **300 ppm**.

2. Karakteristik R-T ZF_5%M

Gas Uji: Etanol				
Resistansi Listrik (M.Ohm)				
T(C)	0 ppm	100	200	300
100	47			
105				
110				
115	24.51	47.5		
120		41.43		39.93
125	15.03	32.7		
130		26.4	28.81	31
135	10.94	21.94	23.43	18.13
140	8.68	17.86	20	23.36
145	6.93	15.46	16.89	18.37
150	5.91	13.9	13.85	15.58
155	4.98	10.83	11.65	13.15
160	4.02	9.38	9.34	10.98
165	3.34	7.85	8.18	9.13
170	2.77	6.61	6.97	7.6
175	2.4	5.76	5.82	6.41
180	2	4.91	4.99	5.44
185	1.68	4.08	4.2	4.6
190	1.39	3.55	3.6	3.88
195	1.27	3.1	3.08	3.33
200	1.06	2.65	2.68	2.86
205	0.917	2.31	2.29	2.45
210	0.769	1.99	2.02	2.15
215	0.678	1.74	1.75	1.88
220	0.587	1.5	1.52	1.63
225	0.519	1.31	1.33	1.42

230	0.439	1.15	1.16	1.24
235	0.377	1	1.02	1.08
240	0.335	0.897	0.88	0.94
245	0.29	0.756	0.767	0.822
250	0.25	0.667	0.657	0.705

3. Perhitungan respon ZF_%5M

T(C)	Respon (%)		
	100	200	300
135	100.5484	114.1682	65.72212
140	105.7604	130.4147	169.1244
145	123.088	143.7229	165.0794
150	135.1946	134.3486	163.621
155	117.4699	133.9357	164.0562
160	133.3333	132.3383	173.1343
165	135.0299	144.9102	173.3533
170	138.6282	151.6245	174.3682
175	140	142.5	167.0833
180	145.5	149.5	172
185	142.8571	150	173.8095
190	155.3957	158.9928	179.1367
195	144.0945	142.5197	162.2047
200	150	152.8302	169.8113
205	151.9084	149.7274	167.1756
210	158.7776	162.6788	179.5839
215	156.6372	158.1121	177.2861
220	155.5366	158.9438	177.6831
225	152.4085	156.262	173.6031
230	161.959	164.2369	182.4601
235	165.252	170.557	186.4721
240	167.7612	162.6866	180.597
245	160.6897	164.4828	183.4483
250	166.8	162.8	182

4. Karakteristik ZF_5%Mn_A. Sitrat 0.5

T(C)	Resistansi Listrik @Etanol		
	0 ppm	100 ppm	200 ppm
85		49.7	41.62
90		31.48	29.16
95		25.47	22.51
100		20.57	18.1
105		16.83	14.99
110	40.3	14.3	11.99
115	31.8	11.4	9.77
120	23.78	9.1	7.86
125	21.35	7.65	6.39
130	16.66	6.27	5.2
135	13.64	5.07	4.25
140	11.15	4.17	3.44
145	9.07	3.38	2.88
150	7.12	2.85	2.47
155	5.89	2.35	2.05
160	4.82	1.95	1.76
165	3.74	1.68	1.5
170	3.1	1.41	1.26
175	2.62	1.18	1.05
180	2.16	0.98	0.91
185	1.85	0.87	0.77
190	1.48	0.72	0.66
195	1.34	0.61	0.58
200	1.13	0.52	0.51
205	0.973	0.441	0.43
210	0.821	0.384	0.37
215	0.693	0.331	0.321

220	0.586	0.286	0.283
225	0.5	0.246	0.245
230	0.348	0.215	0.219
235	0.294	0.191	0.19
240	0.248	0.166	0.162
245	0.205	0.145	0.147
250	0.171	0.124	0.128
255	0.148	0.103	0.109
260	0.127	0.086	0.0935
265	0.111	0.072	0.078
270	0.096	0.061	0.068
275	0.0835	0.052	0.058

5. Respon ZF_5%Mn_A. Sitrat 0.5

T(C)	Respon (%)	
	100 ppm	200 ppm
110	64.516129	70.24814
115	64.150943	69.27673
120	61.732548	66.94701
125	64.168618	70.07026
130	62.364946	68.78752
135	62.829912	68.84164
140	62.600897	69.14798
145	62.734289	68.24697
150	59.97191	65.30899
155	60.101868	65.19525
160	59.543568	63.48548
165	55.080214	59.89305
170	54.516129	59.35484
175	54.961832	59.92366
180	54.62963	57.87037
185	52.972973	58.37838
190	51.351351	55.40541
195	54.477612	56.71642
200	53.982301	54.86726
205	54.676259	55.80678
210	53.227771	54.93301
215	52.236652	53.67965
220	51.194539	51.70648
225	50.8	51
230	38.218391	37.06897
235	35.034014	35.37415
240	33.064516	34.67742

245	29.268293	28.29268
250	27.48538	25.1462
255	30.405405	26.35135
260	32.283465	26.37795
265	35.135135	29.72973
270	36.458333	29.16667
275	37.724551	30.53892

6. Karakteristik ZF_5%Mn_A. Sitrat 0.75

T (C)	Resistansi Listrik (M.Ohm)			
	0 ppm	100	200	300
105			43.57	
110		34.82	30.93	36.9
115		24.85	22.94	27
120		18.92	17.58	21.02
125		14.56	13.15	16
130		11.31	10.47	12.47
135		8.8	8.26	9.38
140	51.02	7	6.55	7.41
145	46.53	5.68	5.26	5.76
150	35.14	4.25	4.11	4.81
155	25.53	2.94	3.48	4.08
160	18	2.45	2.83	3.23
165	13.11	2.02	2.36	2.73
170	9.94	1.71	1.95	2.39
175	7.44	1.42	1.68	2.01
180	5.82	1.19	1.4	1.63
185	4.28	0.995	1.21	1.36
190	3.41	0.869	1	1.22
195	2.65	0.752	0.886	1.06
200	2.07	0.638	0.75	0.884
205	1.69	0.546	0.656	0.723
210	1.29	0.481	0.575	0.641
215	1.04	0.425	0.497	0.568
220	0.81	0.394	0.422	0.496
225	0.633	0.247	0.367	0.442
230	0.509	0.298	0.32	0.368
235	0.407	0.261	0.276	0.325

240	0.321	0.223	0.237	0.281
245	0.262	0.191	0.209	0.248
250	0.213	0.168	0.181	0.216
255	0.184	0.148	0.159	0.188
260	0.155	0.131	0.142	0.169
265	0.133	0.11	0.126	0.148
270	0.111	0.099	0.109	0.129

7. Respon ZF_5%Mn_A. Sitrat 0.75

T(C)	Respon(%)		
	100 ppm	200 ppm	300 ppm
140	86.27989	87.1619	85.47628
145	87.79282	88.69547	87.62089
150	87.90552	88.30393	86.3119
155	88.48414	86.36898	84.0188
160	86.38889	84.27778	82.05556
165	84.59191	81.99847	79.1762
170	82.79678	80.38229	75.95573
175	80.91398	77.41935	72.98387
180	79.55326	75.94502	71.99313
185	76.75234	71.72897	68.2243
190	74.51613	69.79472	64.22287
195	71.62264	66.56604	60
200	69.17874	63.76812	57.29469
205	67.69231	61.18343	57.21893
210	62.71318	55.42636	50.31008
215	59.13462	52.21154	45.38462
220	51.35802	47.90123	38.76543
225	60.97946	42.02212	30.17378
230	41.45383	37.13163	27.70138
235	35.87224	32.18673	20.14742
240	30.5296	26.16822	12.46106
245	27.09924	20.22901	5.343511
250	21.12676	15.02347	-1.40845
255	19.56522	13.58696	-2.17391
260	15.48387	8.387097	-9.03226
265	17.29323	5.263158	-11.2782
270	10.81081	1.801802	-16.2162

8. Karakteristik ZF_5%Mn_A. Sitrat 1

T (C)	Resistansi listrik (M.Ohm)			
	0	100	200	300
90			39	
95			27.64	43.2
100		26.37	19.19	31.05
105		19.41	14.05	
110		14.07	10.95	16.72
115		10.42	8.62	12.16
120		7.38	6.5	9.54
125	47.31	5.78	4.82	7.14
130	37.1	4.35	3.83	5.47
135	28.6	3.42	3.01	4.03
140	21.14	2.72	2.46	3.36
145	15.05	2.21	1.98	2.75
150	10.67	1.82	1.64	2.28
155	7.79	1.51	1.39	1.87
160	5.58	1.23	1.15	1.53
165	3.94	0.985	0.975	1.25
170	2.87	0.853	0.825	1.07
175	2.27	0.747	0.713	0.9
180	1.73	0.613	0.613	0.772
185	1.37	0.518	0.532	0.64
190	1.1	0.442	0.446	0.556
195	0.884	0.385	0.39	0.49
200	0.709	0.323	0.343	0.401
205	0.56	0.287	0.306	0.364
210	0.465	0.247	0.267	0.314
215	0.365	0.213	0.213	0.273
220	0.291	0.189	0.201	0.242

225	0.237	0.164	0.185	0.211
230	0.193	0.14	0.155	0.184
235	0.158	0.122	0.138	0.159
240	0.129	0.106	0.119	0.138
245	0.106	0.09	0.101	0.118
250	0.087	0.074	0.0839	0.1004

9. Respon ZF_5%Mn_A. Sitrat 1

T(C)	Respon(%)		
	100 ppm	200 ppm	300 ppm
125	87.78271	89.81188	84.90805
130	88.27493	89.67655	85.25606
135	88.04196	89.47552	85.90909
140	87.1334	88.36329	84.10596
145	85.31561	86.84385	81.72757
150	82.94283	84.6298	78.63168
155	80.61617	82.15661	75.99487
160	77.95699	79.39068	72.58065
165	75	75.25381	68.27411
170	70.27875	71.25436	62.71777
175	67.09251	68.59031	60.35242
180	64.56647	64.56647	55.37572
185	62.18978	61.16788	53.28467
190	59.81818	59.45455	49.45455
195	56.44796	55.88235	44.57014
200	54.44288	51.622	43.44147
205	48.75	45.35714	35
210	46.88172	42.58065	32.47312
215	41.64384	41.64384	25.20548
220	35.05155	30.92784	16.83849
225	30.80169	21.94093	10.97046
230	27.46114	19.68912	4.663212

10. Karakteristik ZF_0%Mn_AS 0.75

T(C)	Resistansi listrik (%)			
	0 ppm	100 ppm	200 ppm	300 ppm
95				41.77
100		36.69		28.42
105		23.98		21.56
110		16.47		16.43
115		12		13.63
120		9.81		11.04
125		7.87		8.56
130	47.65	6.44	27.25	6.82
135	39.95	5.22	18.31	5.79
140	28.7	4.23	14.61	5
145	23.99	3.55	11.13	4.23
150	15.09	3.02	8.52	3.6
155	10.54	2.62	6.61	3.24
160	7.26	2.75	5.3	2.87
165	5.44	2.4	4.25	2.55
170	4.09	2.05	3.57	2.17
175	3.17	1.87	3.07	2
180	2.61	1.64	2.6	1.83
185	2.22	1.61	2.21	1.65
190	1.88	1.46	1.88	1.45
195	1.64	1.38	1.67	1.33
200	1.46	1.23	1.46	1.19
205	1.29	1.18	1.28	1.13
210	1.19	1.05	1.16	1.05
215	1.08	0.995	1.04	1
220	1.03	0.857	0.95	0.949
225	0.95	0.849	0.84	0.91

230	0.9	0.523	0.765	0.888
235	0.674	0.405	0.704	0.865

11. Respon ZF_0%Mn_AS 0.75

T(C)	Respon (%)		
	100 ppm	200 ppm	300 ppm
130	86.48478	42.81217	85.6873
135	86.93367	54.16771	85.50688
140	85.26132	49.09408	82.5784
145	85.20217	53.60567	82.36765
150	79.98675	43.53877	76.14314
155	75.14231	37.28653	69.25996
160	62.12121	26.99725	60.46832
165	55.88235	21.875	53.125
170	49.87775	12.71394	46.94377
175	41.00946	3.154574	36.90852
180	37.16475	0.383142	29.88506
185	27.47748	0.45045	25.67568
190	22.34043	0	22.87234

12. Karakteristik ZF_0.25%Mn_AS 0.75

T(C)	Resistansi Listrik (M.Ohm)			
	o	100 ppm	200 ppm	300 ppm
95				40.93
100				29.47
105				19.42
110			41.99	13.56
115			31.2	9.05
120		38.6	22.09	6.63
125	48.93	24.8	14.25	4.06
130	36.01	16.72	9.58	3.03
135	21.3	12.26	6.88	2.67
140	13.12	8.37	4.04	1.99
145	8.08	6.1	3.13	1.59
150	5.23	4.09	2.48	1.28
155	3.49	2.97	1.97	1.01
160	2.46	2.34	1.6	0.872
165	1.87	1.88	1.22	0.727
170	1.25	1.51	1.06	0.611
175	1	1.19	0.862	0.525
180	0.794	0.95	0.724	0.427
185	0.618	0.8	0.601	0.353
190	0.498	0.68	0.516	0.319
195	0.379	0.57	0.422	0.276
200	0.311	0.494	0.362	0.24
205	0.252	0.406	0.311	0.209
210	0.21	0.348	0.266	0.183
215	0.169	0.297	0.229	0.158
220	0.147	0.249	0.197	0.138

13. Respon ZF_0.25%Mn_AS 0.75

T(C)	Respon (%)		
	100 ppm	200 ppm	300 ppm
125	49.31535	70.87676	91.70243
130	53.56845	73.39628	91.58567
135	42.44131	67.69953	87.46479
140	36.20427	69.20732	84.83232
145	24.50495	61.26238	80.32178
150	21.79732	52.58126	75.52581
155	14.89971	43.55301	71.06017
160	4.878049	34.95935	64.55285

14. Karakteristik ZF_0.75%Mn_AS 0.75

T(C)	Resistansi Listrik (M.Ohm)			
	0	100 ppm	200 ppm	300 ppm
130				41.85
135			32.7	29.23
140			24.5	23.25
145			18.56	18.09
150		34.7	14.5	14.76
155	40.54	25.77	10.69	11.59
160	34.26	18.92	8.16	8.86
165	28.71	14.54	6.81	7.31
170	22.91	11.66	5.96	6.08
175	18.83	9.28	4.86	4.86
180	15.6	7.28	3.96	3.99
185	12.49	6.05	3.21	3.23
190	9.74	4.88	2.8	2.78

195	7.96	4.04	2.33	2.37
200	6.43	3.19	2.01	2.02
205	5.1	2.68	1.7	1.72
210	3.82	2.32	1.48	1.5
215	2.89	2.03	1.27	1.28
220	2.3	1.71	1.1	1.1
225	1.78	1.35	0.956	1
230	1.39	1.24	0.841	0.871
235	1.09	0.857	0.736	0.738
240	0.852	0.596	0.65	0.671
245	0.639	0.5	0.567	0.59
250	0.49	0.43	0.471	0.508
255	0.392	0.374	0.446	0.443

15. Respon ZF_0.75%Mn_AS 0.75

T(C)	Respon(%)		
	100 ppm	200 ppm	300 ppm
155	36.43315	73.63098	71.41095
160	44.77525	76.18214	74.13894
165	49.35563	76.28004	74.53849
170	49.10519	73.98516	73.46137
175	50.71694	74.19012	74.19012
180	53.33333	74.61538	74.42308
185	51.56125	74.29944	74.13931
190	49.89733	71.25257	71.45791
195	49.24623	70.72864	70.22613
200	50.3888	68.74028	68.58476
205	47.45098	66.66667	66.27451
210	39.26702	61.25654	60.73298
215	29.75779	56.05536	55.70934
220	25.65217	52.17391	52.17391
225	24.1573	46.29213	43.82022
230	10.79137	39.4964	37.33813
235	21.37615	32.47706	32.29358
240	30.04695	23.70892	21.24413
245	21.75274	11.26761	7.668232