

PENGARUH FRIT GLAS TERHADAP KARAKTERISTIK KERAMIK FILM TEBAL FeTiO_3 DARI MINERAL YAROSIT UNTUK APLIKASI TERMISTOR NTC

Yus Rama Denny, Didik Aribowo

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
yusramadenny@gmail.com, Aribowo82@yahoo.co.id

Abstrak - Pembuatan Dan Karakterisasi Keramik Film Tebal Berbasis FeTiO_3 Dari Mineral Yarosit Untuk Aplikasi Termistor NTC. Telah dilakukan studi pembuatan dan karakterisasi termistor NTC dari bahan mineral yarosit. Bahan mineral yarosit dari alam dimurnikan dengan larutan HCl, diendapkan dengan menggunakan NH_4OH dan dipanaskan pada suhu kalsinasi 700°C selama 2 jam. Pembuatan termistor NTC dilakukan dengan mencampurkan serbuk yarosit hasil pemurnian dan pengendapan dengan TiO_2 . Pasta termistor FeTiO_3 dicetak dipermukaan alumina substrat dengan metode *screen printing*, kemudian dilakukan pemanasan pada suhu 500°C selama 1 jam diruangan udara dilanjutkan disinter pada suhu 1100°C selama 1 jam diruangan hidrogen. Sifat listrik keramik film tebal hasil sinter diukur pada berbagai suhu. Struktur kristal dievaluasi dengan difraksi sinar x (XRD), dan struktur mikro dievaluasi dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Data analisis XRD memperlihatkan bahwa seluruh keramik film tebal berstruktur heksagonal (*Illiminite*). Data struktur mikro dan sifat listrik memperlihatkan bahwa termistor dari yarosit memenuhi kebutuhan pasar.

Kata kunci : termistor, yarosit, sifat listrik, strukture kristal, struktur mikro.

Abstract - A study of influence frit of glass to thick film ceramics based on FeTiO_3 from minerals was investigated. Minerals yarosit were used for making NTC thermistor through mixing with material TiO_2 , organic compound and glass compound. NTC thermistor paste printed on surface of alumina substrat using screen printing method. Sample heated on temperature 500°C for 1 hours in the air, and then sintered using hydrogen on temperature 1100°C for 1 hours. Resistivity-temperature characteristic (*R-T curve*) was determined through measurement of resitivity at various temperature. Thick film termistor also were evaluated using XRD and SEM. The result of measurement from thermistor constanta of curve of *R-T* indicate that ceramicly made thermistor with materials of yarosit have good potency as thermistor NTC because owning value of konstanta thermistor which big relative. Addition of glass compound pursue growth of item of compound of FeTiO_3 resulting degradation of price of konstanta thermistor. From data of x ray diffraction shows that thermistor of NTC thick film which is sintered at temperature 1100°C have matrix of Fe_2O_3 owning structure of hexagonal.

Key Word : thermistor, yarosit, electrical properties, crystal structure, micro structure.

I. PENDAHULUAN

a. Latar Belakang

Indonesia memiliki sumberdaya alam yang melimpah seperti hutan, minyak bumi, gas alam dan bahan tambang. Sumber daya alam tersebut sudah semestinya dimanfaatkan untuk menunjang pembangunan bangsa. Mineral yang mengandung oksida besi merupakan salah satu sumber daya alam yang banyak ditemukan. Selama ini, mineral tersebut pemanfaatannya hanya sebagai bahan mentah (*raw materials*) dan langsung dijual keluar negeri tanpa melalui proses pengolahan. Pemanfaatan ini tentu saja tidak efektif dan tidak optimal. Sebenarnya mineral tersebut karena mengandung oksida besi yang besar dapat dimanfaatkan untuk bahan industri, salah satunya adalah mineral yarosit.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan (Gustaman, D. et al., 2005) diketahui bahwa bahan mineral yarosit yang berasal dari Pd. Kerta Pertambangan kota Garut Jawa Barat hasil kopresipitasi (pelarutan dengan larutan asam diikuti dengan pengendapan dan kalsinasi) dapat dibuat menjadi termistor yang memenuhi standar komersil.

Termistor (*Thermally Sensitive Resistors*) merupakan komponen elektronika yang resistansinya bergantung dari temperatur dan memiliki karakteristik sangat sensitif terhadap temperatur (Anonim_a, 2006). Piranti ini banyak digunakan dalam berbagai peralatan seperti dalam *electric cooker*, sebagai sensor temperatur yang sangat sensitif, sensor aliran gas, sensor kelembapan (*humidity*), sensor radiasi dan lain-lain.

Pada penelitian ini pembuatan termistor dilakukan dengan mencampurkan yarosit dan TiO₂ untuk membentuk FeTiO₃ (*Illminite*). Pembuatan termistor dari bahan mineral yarosit akan dibandingkan dengan termistor yang dibuat dari bahan Fe₂O₃ hasil impor bermerk dagang Aldrich dengan kemurnian yang lebih tinggi dari mineral yarosit hasil pemurnian-pengendapan.

II. METODOLOGI

Serbuk mineral yarosit asli yang diperoleh dari PD. Kerta Pertambangan Bandung terlebih dahulu dipanaskan dengan suhu 700°C selama 4 jam. Serbuk mineral hasil pemanasan tersebut dilarutkan didalam HCl sehingga diperoleh larutan asam, kemudian disaring untuk memisahkan serbuk yang tidak larut. Larutan hasil penyaringan ditambahkan larutan NH₄OH untuk mendapatkan endapan Fe(OH)₂, kemudian endapan yang diperoleh dikalsinasi pada suhu 700°C selama 2 jam di atmosfer udara. Untuk melihat komposisi kimia serbuk mineral yarosit hasil kalsinasi dianalisis di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara (P3TMB) Bandung.

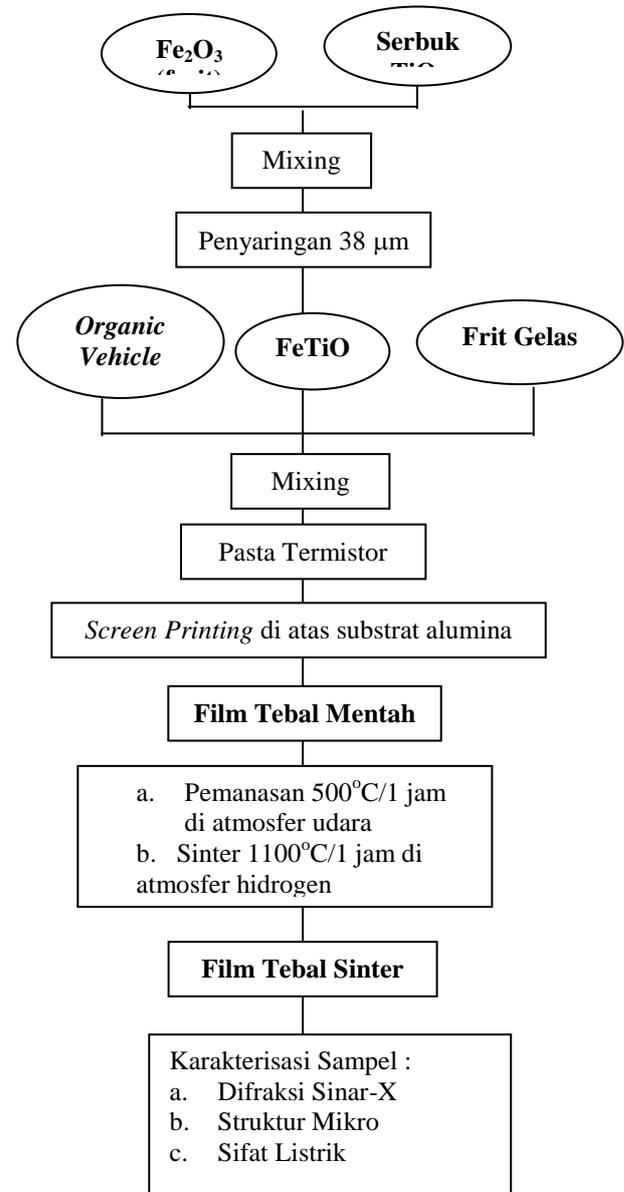
Film tebal termistor NTC dicetak diatas permukaan substrat alumina dengan metode penyablonan (*screen printing*). Untuk pembuatan pasta termistor dapat dilakukan dengan mencampurkan senyawa organik, FeTiO₃, dan frit gelas (dapat dilihat pada tabel 1). Senyawa organik yang digunakan antara lain etil selulosa (10% berat) dan α-terpineol (90% berat), sedangkan untuk pembuatan frit gelas dengan mencampurkan serbuk PbO (30% berat), SiO₂ (20% berat), dan B₂O₃ (50% berat) kemudian dilakukan pendinginan cepat (*quenching*) dengan cara memasukkannya kedalam air secara cepat sehingga didapatkan bahan gelas. Bahan gelas tersebut digerus dan dilakukan penyaringan dengan ukuran 38 mikron sehingga didapatkan frit gelas. Pada penelitian ini konsentrasi frit gelas yang ditambahkan divariasikan menjadi 2 % berat dan 5 % berat untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kualitas termistor NTC film tebal.

Selanjutnya substrat alumina yang sudah dicetak dengan pasta termistor dilakukan pemanasan pada temperatur 500°C selama 1 jam di ruangan udara dilanjutkan dengan penyinteran pada temperatur 1100°C selama 1 jam di ruangan hidrogen dengan nilai kenaikan suhu (*heating rate*) dan penurunan suhu (*cooling rate*) sebesar 6°C/menit, sehingga didapatkan “film tebal sinter”. Film tebal termistor hasil penyinteran akan dilakukan karakteristik listrik dengan pengukuran resistansi yang kemudian dikonversi ke dalam resistivitas dengan memasukkan data dimensi pada berbagai suhu dari 30-100°C menggunakan persamaan :

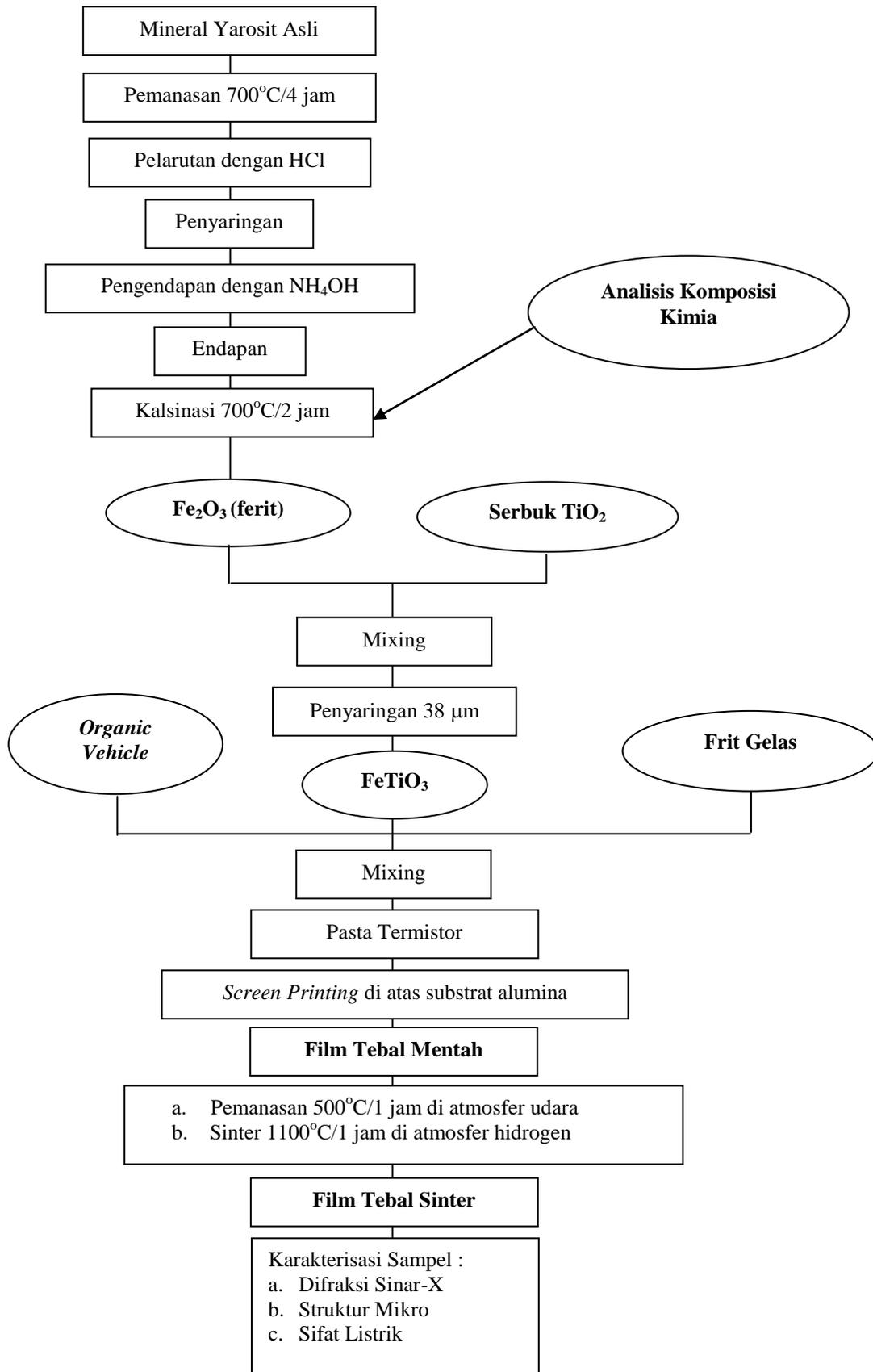
$$\rho = R \frac{t.W}{L} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan R = nilai resistansi (Ω), ρ = resistivitas *bulk* material pasta (Ωmm), L = panjang termistor (mm), W = lebar termistor (mm), t = ketebalan film (mm).

Analisis difraksi sinar-x dilakukan untuk melihat struktur kristal yang terjadi dan dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) struktur mikro film tebal sinter dievaluasi.



Gambar 1. Diagram alir untuk FeTiO₃ dari bahan Aldrich



Gambar 2. Diagram alir untuk FeTiO₃ dari mineral yarosit

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

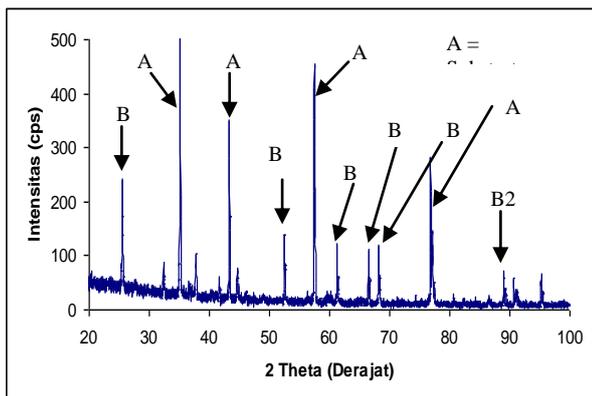
a. Komposisi Kimia Serbuk Yarosit

Dari hasil analisis kimia, bahwasanya serbuk yarosit hasil kopresipitasi selain mengandung material Fe₂O₃ juga terlihat beberapa material ikutan yaitu SiO₂, K₂O, Na₂O dan MnO. Hasil analisis kimia dapat dilihat pada tabel 2. Tabel 2. Komposisi kimia serbuk yarosit hasil kopresipitasi

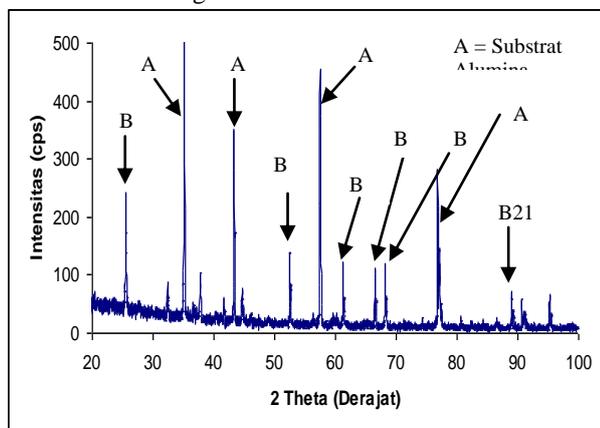
No.	Oksida	Kadar (%berat)
1.	Fe ₂ O ₃	92,5
2.	SiO ₂	2,26
3.	K ₂ O	0,036
4.	Na ₂ O	0,083
5.	MnO	0,094

b. Analisis Difraksi Sinar-X (XRD)

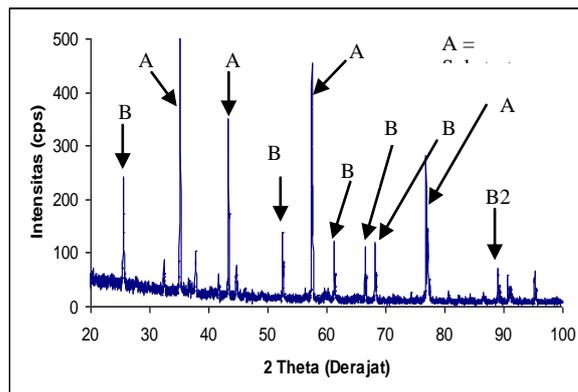
Pola difraksi sinar-x untuk keramik film tebal FeTiO₃ dengan konsentrasi frit gelas 2 % berat dan 5 % berat dari bahan yarosit ditunjukkan oleh Gambar 4.1 dan 4.2. Untuk pola difaksi keramik film tebal FeTiO₃ dari bahan murni (Aldrich) dengan konsentrasi frit gelas 2 % berat dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 3. Pola difraksi keramik film tebal FeTiO₃ untuk bahan yarosit dengan konsentrasi frit gelas 2 % berat.



Gambar 4 Pola difraksi keramik film tebal FeTiO₃ untuk bahan yarosit dengan konsentrasi frit gelas 5 % berat.



Gambar 5. Pola difraksi keramik film tebal FeTiO₃ untuk bahan Fe₂O₃ murni (Aldrich) dengan konsentrasi frit gelas 2 % berat.

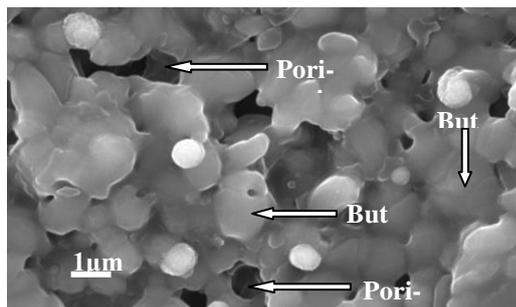
Dengan membandingkan data pola difraksi Gambar 3, 4, dan 5 dengan data pola difraksi standar untuk *ilminite Iron Titanium Oxide*, FeTiO₃ (JCPDS-29-0733), diketahui bahwa termistor film tebal FeTiO₃ pada konsentrasi frit gelas 2 % berat dan 5 % berat dari bahan yarosit maupun dari bahan murni (Aldrich) memiliki struktur yang sama yaitu *ilminite* (heksagonal). Hal ini menunjukkan bahwa penambahan frit gelas tidak merubah struktur kristal yang terbentuk. Jika dibandingkan dengan pola difraksi sinar x dengan bahan murni, pola difraksi yang dibentuk oleh serbuk mineral yarosit memiliki kesamaan, walaupun dari intensitasnya ada perbedaan tetapi tidak terlalu signifikan. Pada pola difraksi sinar x keramik film tebal FeTiO₃, puncak Fe₂O₃ dan puncak TiO₂ tidak tampak (dianalisis dengan pola difraksi standar Fe₂O₃ JCPDS 13-05345 dan TiO₂ JCPDS 21-1276). Hal ini mengindikasikan bahwa selama proses sintering senyawa TiO₂ masuk kedalam matriks Fe₂O₃. Puncak tambahan yang berasal dari material ikutan seperti SiO₂, K₂O, Na₂O, MnO maupun yang berasal dari senyawa gelas tidak teridentifikasi dengan XRD karena konsentrasinya yang sangat kecil.

c. Struktur Mikro

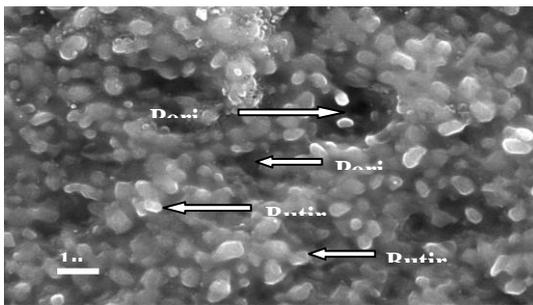
Hasil foto struktur mikro untuk sampel keramik film tebal FeTiO₃ dari mineral yarosit dan bahan murni bermerk dagang Aldrich dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7. Pada Gambar 6 tampak bahwa struktur mikro keramik film tebal dari mineral yarosit dengan konsentrasi frit gelas sebesar 2 % berat memiliki ukuran butir yang lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi 5 % berat. Dengan ukuran butir besar, maka penggabungan luas permukaan efektif tiap-tiap butir akan semakin besar (persentuhan antar butir akan lebih baik), menghasilkan pembesaran volume efektif dan luas penampang efektif termistor film tebal yang sangat berguna untuk mobilitas pembawa muatan. Pertumbuhan butir terhambat pada sampel dengan kandungan frit gelas 5 % berat karena senyawa gelas tidak hanya terdapat di daerah batas substrat saja tetapi juga masuk ke dalam batas butir keramik film tebal FeTiO₃. Masuknya senyawa gelas ke dalam batas butir,

menyebabkan keramik film tebal dengan substrat saling mengikat. Semakin banyak senyawa gelas yang diberikan maka ikatan antar keramik film tebal dengan substrat juga semakin kuat.

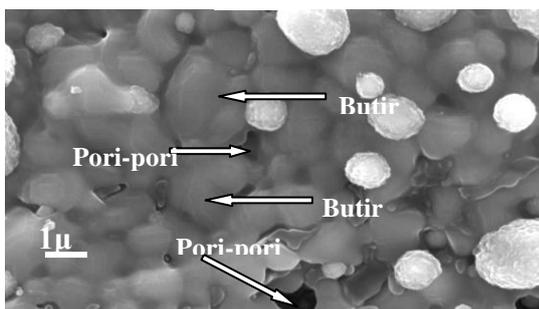
Bila dibandingkan dengan struktur mikro keramik film tebal FeTiO₃ bahan murni dengan konsentrasi frit gelas 2 % berat diketahui ukuran butir lebih besar dan pertumbuhan butiran lebih baik dibandingkan dari bahan yarosit. Akibatnya kontak antar butir menjadi baik, dan antar butir juga saling mengikat dibandingkan dengan bahan yarosit. Dari gambar juga dapat dilihat bahwa pori-pori dari bahan murni tampak lebih kecil dan sedikit, diduga karena pori-pori pada bahan yarosit terbentuk oleh adanya material ikutan yang meleleh pada suhu 1100°C.



(a)



(b)



(c)

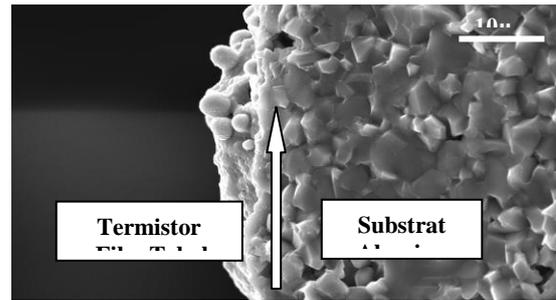
Gambar 6. Foto SEM dilihat dari permukaan (*surface*) termistor film tebal dengan (a) konsentrasi frit gelas sebesar 2 % berat dari bahan yarosit, (b) konsentrasi frit gelas sebesar 5 % berat dari bahan yarosit, (c) konsentrasi frit gelas sebesar 2 % berat dari bahan murni.

Dari hasil SEM pada sisi samping (*Cross Section*) dapat diukur ketebalan termistor film tebal. Ketebalannya tampak berbeda akan tetapi tidak

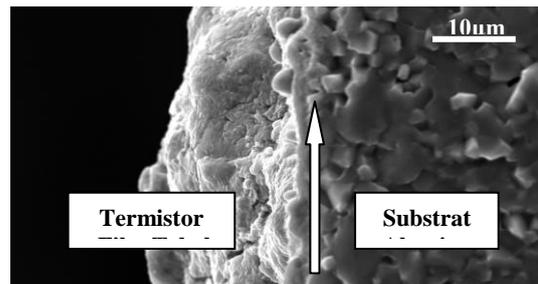
signifikan karena hanya beda beberapa mikron saja. Hasil pengukurannya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Data ketebalan keramik film tebal FeTiO₃ untuk berbagai konsentrasi frit gelas.

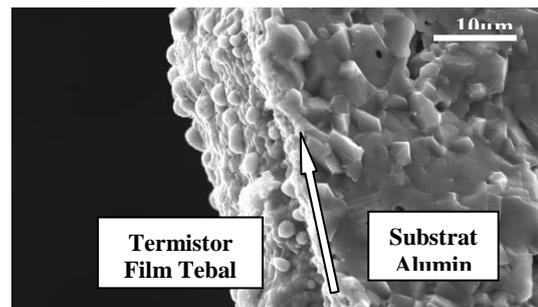
Bahan	Satuan (% berat)	Ketebalan (µm)
Fe ₂ O ₃ asal yarosit	2	5,9 ± 0,0
	5	10,1 ± 0,2
Fe ₂ O ₃ Murni	2	9,9 ± 0,1



(a)



(b)

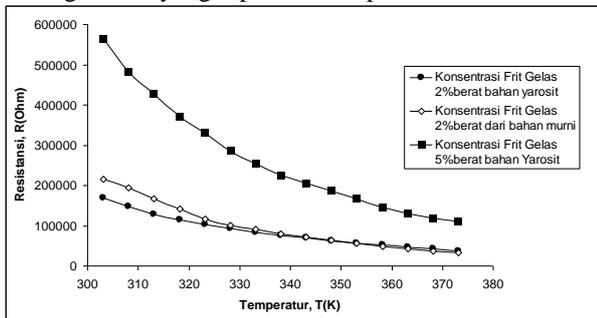


(c)

Gambar 7. Foto SEM dilihat dari sisi samping (*cross section*) termistor film tebal dengan (a) konsentrasi frit gelas sebesar 2 % berat dari bahan yarosit, (b) konsentrasi frit gelas sebesar 5 % berat dari bahan yarosit, (c) konsentrasi frit gelas sebesar 2 % berat dari bahan murni.

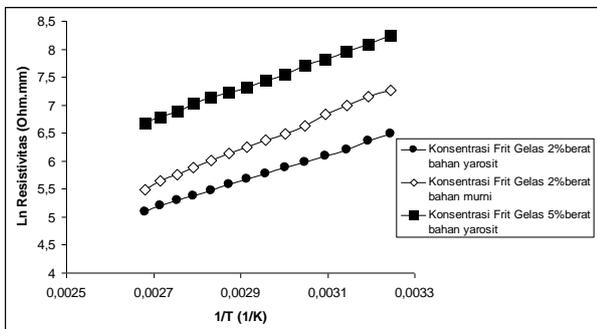
d. Karakteristik Listrik

Hasil pengukuran antara resistansi terhadap temperatur dari 30°C – 100°C untuk sampel keramik film tebal FeTiO₃ dengan variasi konsentrasi frit gelas 2 % berat dan 5 % berat diperoleh kurva karakterisasi hubungan R-T yang diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik hubungan antara resistansi terhadap temperatur untuk berbagai konsentrasi frit gelas.

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa karakterisasi listrik sampel keramik film tebal FeTiO₃ sesuai dengan terorisit dimana nilai resistansi turun secara eksponensial sejalan dengan meningkatnya temperatur. Hal ini disebabkan semakin besar temperatur, elektron yang berada di pita konduksi sebagai pembawa muatan akan semakin banyak juga. Semakin banyak pembawa muatan maka konduktivitas listrik pun akan semakin besar. Dan hubungan antara konduktivitas dan resistansi berbanding terbalik sehingga ketika konduktivitas naik maka resistansi akan mengalami penurunan.



Gambar 9. Grafik Hubungan antara Ln ρ terhadap 1/T untuk berbagai konsentrasi frit gelas.

Untuk mengetahui kualitas dari termistor perlu diketahui nilai konstanta dan sensitivitas termistor. Konstanta termistor dapat diperoleh dari hubungan antara Ln ρ terhadap 1/T dari termistor flm tebal. Kurva yang diperoleh pada gambar diatas tampak linear dan memiliki gradien yang berbeda-beda pada konsentrasi frit gelas yang berbeda. Gradien ini dijadikan nilai dari konstanta termistor. Jika dilihat posisi kurva pada Gambar 9, garis yang berada diatas menandakan harga resistivitas yang lebih besar dan sebaliknya garis yang berada lebih bawah menandakan harga resistivitas listrik yang lebih kecil. Nilai β dapat dilihat pada Tabel 3 untuk berbagai konsentrasi frit gelas.

Tabel 3 Nilai konstanta termistor film tebal (β) FeTiO₃

Frit Gelas (% berat)	Konstanta Termistor (β) K	
	Fe ₂ O ₃ asal Yarosit	Fe ₂ O ₃ murni
2	2405,075 ± 32,562	3110,675 ± 78,769
5	2728,825 ± 29,809	

Pada Tabel 3 didapatkan bahwa konstanta termistor yang berasal dari keramik film tebal FeTiO₃ berbahan yarosit maupun dari bahan murni memiliki potensi untuk menjadi bahan dasar termistor NTC, hal ini dapat dilihat dari terpenuhinya nilai konstanta termistor dalam rentang termistor komersil (2000 K sampai 6000 K). Nilai konstanta termistor untuk bahan yarosit pada konsentrasi frit gelas 5 % berat (278,825 K ± 29,809 K) lebih besar dibandingkan dengan 2 % berat (2405,075 K ± 32,562 K).

Penurunan harga β terjadi ketika termistor film tebal memiliki konsentrasi frit gelas yang lebih sedikit disebabkan oleh perubahan struktur mikro. Berdasarkan hasil SEM-EDX pada sampel termistor ternyata terdapat senyawa gelas dalam jumlah tertentu dan menjadi material ikutan saja yang berada di batas butir yang menghalangi pertumbuhan butir. Struktur mikro film tebal termistor yang memiliki senyawa gelas yang lebih sedikit mempunyai ukuran butir yang lebih besar dan persentuhan antar butir yang lebih baik sehingga jumlah pembawa muatannya lebih besar. Akan tetapi, jumlah pembawa muatan yang relatif besar cenderung mengalami tumbukan antara sesama yang lebih hebat ketika suhu sampel termistor dinaikkan. Akibatnya, perubahan tahanan listrik relatif tidak sensitif terhadap perubahan suhu sampel. Hal ini diekspresikan oleh harga β yang relatif lebih kecil yang dimiliki oleh konsentrasi frit gelas 2 % berat.

Pada Tabel 3 dapat dilihat nilai konstanta termistor berbahan murni (3110,675 K) memiliki harga yang relatif lebih besar dibandingkan berbahan yarosit (2405,075 K). Perbedaan nilai tersebut diakibatkan oleh tingkat kemurnian mineral. Hal ini berkorelasi terhadap penurunan nilai resistivitas untuk material yang mengandung impuritas. Secara teoritis nilai resistivitas akan turun seiring dengan penurunan konstanta termistor.

Nilai konstanta termistor dari keramik film tebal FeTiO₃ dari bahan yarosit memiliki harga yang masuk rentan termistor komersil memperlihatkan bahwa material ikutan yang terkandung pada bahan yarosit tidak menghilangkan sifat termistor dan terdapat kemungkinan bahwa sebagian material ikutan mempunyai kontribusi positif pada pembentukan sifat termistor yang dihasilkan. Namun untuk mengetahui material mana yang berpengaruh baik dan mana yang berpengaruh buruk terhadap pembentukan sifat termistor ini memerlukan penelitian lanjutan.

Tabel 4 Nilai resistivitas pada temperatur suhu ruang (25°C) untuk berbagai konsentrasi frit gelas.

Frit Gelas (% berat)	Resistivitas suhu 25°C (Ohm.mm)	
	Fe ₂ O ₃ asal Yarosit	Fe ₂ O ₃ murni
2	1498,58	4326,15
5	9810,74	

Resistivitas keramik film tebal FeTiO₃ pada suhu ruang berbahan yarosit semakin besar dengan meningkatnya frit gelas sebagaimana yang diperlihatkan pada Tabel 4. Hal ini karena adanya perbedaan jumlah pembawa muatan di antara termistor film tebal tersebut yang diakibatkan oleh perbedaan struktur mikro. Senyawa gelas yang berada pada batas butir tidak larut padat di dalam matriks FeTiO₃ sehingga tidak menyumbangkan elektron ke pita konduksi atau bukan sebagai donor bahkan menghalangi mobilitas dari pembawa muatan. Oleh karena itu jumlah pembawa muatan di dalam termistor film tebal dengan konsentrasi frit gelas 2 % berat relatif lebih besar.

Namun, seperti yang terlihat pada Tabel 4 harga resistivitas pada suhu ruang termistor berbahan yarosit masih lebih rendah dari pada termistor yang dibuat dari serbuk Fe₂O₃ murni bermerk dagang Aldrich yang memang sengaja dibuat sebagai pembanding. Hal ini memperlihatkan adanya material tertentu yang larut padat didalam termistor berbahan yarosit yang bertindak sebagai donor elektron atau akseptor. Untuk mengetahui material mana yang berpengaruh baik dan mana yang berpengaruh buruk terhadap pembentukan sifat termistor ini memerlukan penelitian lanjutan.

Dari harga konstanta termistor (β) diperoleh harga sensitivitas (α) yang didapatkan menggunakan persamaan $\alpha = -\frac{\beta}{T^2} \times 100\%$. Dari Tabel 5 menunjukkan bahwa harga sensitivitas termistor yang dibuat dari bahan yarosit cukup baik dan masuk kedalam rentan harga sensitivitas termistor komersil yaitu -2,250%/K sampai -6,19%/K. Pada tabel juga dapat dilihat harga sensitivitas termistor untuk konsentrasi frit gelas 2 % berat lebih kecil dibandingkan dengan konsentrasi 5 % berat. Hal ini menunjukkan penambahan frit gelas terhadap termistor film tebal dapat menaikkan harga sensitivitasnya.

Tabel 5 Nilai Sensitivitas Termistor (α) FeTiO₃ dari bahan yarosit dan Fe₂O₃ murni

frit gelas (% berat)	Sensitivitas Termistor, α %/K	
	Yarosit-TiO ₂	Fe ₂ O ₃ murni-TiO ₂
2	- (2,708 ± 0,036)	- (3,503 ± 0,089)
5	- (3,073 ± 0,034)	

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data yang diperoleh dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu sebagai berikut :

1. Penambahan frit gelas dapat meningkatkan nilai resistivitas pada keramik film tebal FeTiO₃. Adanya material ikutan pada bahan yarosit menyebabkan nilai resistivitasnya lebih rendah dibandingkan dengan Fe₂O₃ murni.
2. Pengaruh penambahan konsentrasi frit gelas pada keramik film tebal FeTiO₃ berbahan yarosit dapat meningkatkan nilai konstanta termistor β dan nilai sensitivitas termistor α.
3. Hasil struktur mikro menunjukkan senyawa gelas yang masuk kedalam termistor film tebal FeTiO₃ tidak hanya terdapat di daerah batas substrat saja akan tetapi senyawa gelas tersebut juga masuk kedalam batas butir.
4. Penambahan frit gelas dari bahan yarosit dapat menghambat pertumbuhan butir yang menyebabkan ukuran butir menjadi lebih kecil.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. Pola Difraksi Standar untuk *Coroundum*, Al₂O₃ JCPDS No. 34-1484.

Anonim. Pola Difraksi Standar untuk *Ilminite Iron Titanium Oxide*, FeTiO₃ JCPDS No. 29-0733.

Anonim. Pola Difraksi Standar untuk *Iron Oxide*, Fe₂O₃ JCPDS No. 13-05345.

Anonim. Pola Difraksi Standar untuk *Titanium Oxide*. JCPDS No 21-1276.

Anonim *Thermistor Temperature Sensors*. [Online]. Tersedia :<http://www.temperature.com>.

Arifin, Zaenal. (1995). *Teknologi Thick Film Hybrid Integrated Circuit*. Buletin Infolen No 2 Vol . Puslitbang Telkoma-LIPI Bandung.

Barsoum, M. (1997). *Fundamental of Ceramics*. Editions, Material science Series. Singapore:Mc Graw-Hill Companies.

Cullity, B.D. (1956). *Elements of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc.

Effendi, E, H. (1995). *Penelitian Pembuatan Resistor dengan Teknologi Hibrid Film Tebal*. Buletin IPT No 3 Vol. 1. Puslitbang Telkoma-LIPI Bandung.

Effendi, E, H. (1996). *Konduktor Film Tebal pada Rangkaian Hybrid-IC*. Buletin IPT No 5-6 Vol. 1. Puslitbang Telkoma-LIPI Bandung.

Gustaman, D. et al. (2004). *Karakterisasi Termistor NTC yang dibuat dari Serbuk Hasil Pengolahan Proses Kopesipitasi Magnetit Asal Garut*. Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia. Volume V no. 2. P3TKN-BATAN Bandung.

Gustaman, D. et al. (2005). *Pembuatan Keramik Termistor NTC Berbahan Dasar Mineral Yarosit dan Evaluasi Karakterisasinya*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknik Nuklir. P3TKN-BATAN Bandung.

- Gustaman, D. (2006). *Studi Aplikasi Keramik ZnBiCo sebagai Termistor NTC*. Jurnal Teknik Mesin. Universitas Trisakti Jakarta
- Gustaman, D. (2005). *Komunikasi Pribadi*. P3TKN-BATAN Bandung.
- Ismunandar. (2005). *Modul Kimia Material Keramik*. Departemen Kimia FMIPA ITB.
- Julius, St. et al. (1998). *Pembuatan Konduktor Film Tebal*. ELEKTRO-INDONESIA edisi kesebelas.
- Kirk – Othmer. (1992). *Composite Material to Detergency*. Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 7. Fourth Edition. John Wiley & Sons Inc.
- Lubis, Haris. (1995). *Mengapa Komponen Hybrid IC*. Buletin Infolen No 2 Vol.1 Puslitbang Telkoma-LIPI Bandung.
- Pallas, R., et al. (1991). *Sensor and signal conditioning*. A Wiley-Interscience Publication.
- Van Vlack. H.L. (2001). *Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa Material (terjemahan Sriati Djaprie)*. Edisi keenam. Jakarta : Erlangga.