

PEMBUATAN KERAMIK DARI BAHAN MANGANIT DAN KARAKTERISASI LISTRIKNYA SEBELUM DAN SESUDAH IRADIASI GAMMA

Dani Gustaman Syarif¹, Guntur D. Sambodo¹, Saeful Hidayat¹, Muhamad Yamin¹,
Yudi Setiadi¹, Armanu²

¹ Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri, BATAN, Jl. Tamansari No.71 Bandung 40132.

² Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN, Ps. Jumat, Cinere, Jakarta Selatan.

ABSTRAK

PEMBUATAN KERAMIK DARI BAHAN MANGANIT DAN KARAKTERISASI LISTRIKNYA SEBELUM DAN SESUDAH IRRADIASI GAMMA. Telah dilakukan pembuatan keramik oksida mangan dari mineral manganit. Serbuk oksida mangan diperoleh dari mineral manganit melalui pelarutan dan pengendapan. Serbuk hasil pengendapan dipres dan disinter pada suhu 1000°C-1200°C selama 1 jam di udara. Karakteristik listriknya ditentukan sebelum dan sesudah radiasi gamma sebesar 50 kGy. Hasil analisis XRD memperlihatkan bahwa serbuk hasil pengendapan mengandung oksida Fe (Fe_2O_3) dan Mn (Mn_2O_3) dan keramik hasil sinter cenderung berkrystal spinel kubik dan berbentuk larutan padat. Karakteristik listrik memperlihatkan bahwa keramik ini mempunyai sifat termistor NTC yaitu resistivitas listriknya menurun dengan pertambahan suhu. Pengaruh irradiasi gamma dengan dosis hingga 50 kGy terhadap karakteristik listrik keramik yang dibuat tidak terlihat.

Kata kunci : termistor, NTC, mineral, manganit, irradiasi gamma.

ABSTRACT

FABRICATION OF CERAMICS FROM MANGANITE AND THEIR ELECTRICAL CHARACTERIZATION BEFORE AND AFTER GAMMA IRRADIATION. Fabrication of manganese oxide ceramics from manganite mineral has been carried out. Manganese oxide powder was derived from manganite mineral by dilution and precipitation. The precipitated powder was pressed and sintered at 1000°C-1200°C for 1 hour in air. Electrical characteristic was determined before and after gamma irradiation of 50 kGy. The XRD analyses showed that the precipitated powder composed of mainly Fe oxide (Fe_2O_3) and Mn oxide (Mn_2O_3), and the sintered ceramics tend to crystalize in cubic spinel forming a solid solution. The electrical characteristics showed that the ceramics had an NTC property that is the electrical resistivity decreases with the increase of temperature. The effect of gamma irradiation of 50 kGy on the electrical characteristics was not seen.

Key words : thermistor, NTC, mineral, manganite, gamma irradiation.

1. PENDAHULUAN

Dalam rangka swasembada komponen dan substitusi impor serta alih teknologi, berbagai usaha harus dilakukan. Dikaitkan dengan pemulihan krisis usaha seperti ini menjadi lebih penting lagi. Di antara berbagai komponen yang selama ini diimpor salah satunya adalah termistor.

Termistor (*thermistor*) yang merupakan kependekan dari Thermally Sensitive Resistor adalah suatu komponen elektronik yang memiliki tahanan listrik yang sangat sensitif terhadap perubahan suhu. Berdasarkan responnya terhadap perubahan suhu, termistor dibagi menjadi dua jenis yaitu NTC (*Negative Temperature Coefficient*) dan PTC (*Positive Temperature Coefficient*). Termistor NTC

banyak dipakai pada peralatan elektronik yang digunakan di segala bidang seperti kesehatan, komunikasi, nuklir dll. sebagai pengukur suhu yang sangat sensitif [1]. Sementara itu termistor PTC banyak digunakan juga pada berbagai peralatan terutama pemanas sebagai pengontrol suhu otomatis (*self temperature control*) [2-4]. Khusus yang menjadi perhatian pada penelitian ini adalah termistor jenis NTC.

Termistor NTC dapat dibuat dari berbagai bahan dasar seperti Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , paduan oksida Mn dan Ni dll.[5-14]. Dalam rangka memberi nilai tambah pada bahan tambang yang melimpah di Indonesia diantaranya yarosit (dengan kandungan utama Fe_2O_3), maka perlu dilakukan usaha untuk memperoleh kemampuan dalam pembuatan termistor dari bahan ini. Selain itu untuk dapat memenuhi kebutuhan termistor untuk aplikasi di bidang nuklir, maka perlu dilakukan pula studi untuk mendapatkan termistor berbasis mineral ini yang tahan radiasi khususnya radiasi gamma. Termistor yang tahan radiasi gamma setidaknya dapat dipakai untuk peralatan khususnya sensor suhu yang digunakan di daerah medan radiasi gamma seperti hot-cell dll. Selain itu radiasi gamma juga diharapkan dapat menjadi *tool* untuk memperbaiki sifat termistor. Potensi komersial dari termistor cukup besar karena luasnya bidang penggunaan komponen ini. Jika Indonesia dapat memproduksi sendiri, maka kemungkinan negara ini dapat memperoleh devisa, atau paling sedikit dapat mengurangi devisa yang lari keluar negeri.

Tahun 2004 telah dilakukan penelitian untuk menjajagi pembuatan termistor dari mineral yarosit [15]. Dari data-data yang diperoleh dari penelitian tahun lalu tersebut, diketahui bahwa yarosit terdiri atas Fe_2O_3 sebagai komponen utama dan material ikutan dengan kadar yang cukup tinggi seperti SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Na_2O , K_2O dan CaO . Kandungan Fe_2O_3 di dalam yarosit asli masih sekitar 60 %. Diketahui pula dari penelitian terdahulu itu[15] bahwa Fe_2O_3 dengan kadar cukup tinggi dapat diperoleh dari yarosit dengan cara pelarutan dan pengendapan. Proses ini juga diketahui dapat menurunkan kadar material ikutan. Dari data karakteristik pelet baik yang dibuat dari yarosit asli maupun yang dibuat dari yarosit hasil pemurnian, diketahui bahwa rapat massa pelet sinter dari yarosit asli sangat rendah, membuat pelet tersebut sangat rapuh. Sementara pelet dari yarosit hasil pemurnian memiliki rapat massa yang lebih baik, karena ukuran partikelnya kecil sehingga serbuk lebih

reaktif dan karena sebagian material ikutan telah berkurang kadarnya. Konstanta termistor baik dari termistor yang dibuat dari yarosit asli maupun dari termistor yang dibuat dari yarosit hasil pemurnian relatif tinggi dan sesuai dengan kebutuhan pasar.

Berbagai mineral selain yarosit banyak terdapat di Indonesia dan mineral-mineral tersebut seperti manganit, magnetit dan ilmenit dapat menjadi bahan dasar termistor. Dalam rangka diversifikasi bahan baku, memberi nilai tambah kepada mineral lain sekaligus mendapatkan bahan dasar yang lebih baik, maka sebagai kelanjutan, pada penelitian ini dilakukan pembuatan termistor dari bahan dasar mineral manganit. Mineral ini mempunyai potensi menjadi termistor NTC yang baik, terutama jika dalam bentuk kristal spinel. Dalam penelitian ini akan dipelajari pengaruh komposisi kimia dan parameter pembuatan seperti suhu dan waktu sinter terhadap karakteristik keramik termistor yang diperoleh. Evaluasi dilakukan setelah memperoleh data struktur, struktur mikro, karakteristik listrik dari termistor sebelum dan sesudah iradiasi sinar gamma.

2. TATA KERJA

Langkah pertama yang dilakukan adalah analisis komposisi kimia mineral manganit yang dilanjutkan dengan proses pelarutan dan pengendapan yang dilakukan untuk memperoleh manganit yang lebih bersih dengan ukuran butir yang lebih kecil. Bentuk visual serbuk mineral manganit diperlihatkan pada Gambar 1. Pelarutan dilakukan dengan menggunakan larutan HCl dan pengendapan menggunakan NH_4OH . Serbuk manganit hasil pengolahan yang siap untuk dibuat pelet termistor diperoleh dengan mengkalsinasi serbuk hasil pengendapan yang telah dikeringkan pada suhu antara $700^\circ C$ selama 2 jam. Serbuk manganit asli (mineral) dan hasil pengolahan dipres untuk memperoleh pelet mentah dengan tekanan sekitar 4 ton/cm^2 . Pelet mentah yang diperoleh disinter pada suhu $1000^\circ C$ - $1200^\circ C$ selama waktu 1 jam di dalam atmosfer udara.

Pelet hasil sinter dianalisis menggunakan XRD untuk melihat jenis kristal dari keramik yang diperoleh, sekaligus untuk melihat fase-fase yang terjadi. Struktur mikro yang diperoleh melalui proses metalografi juga dievaluasi untuk melihat kaitannya dengan sifat listrik termistor. Metalografi dilakukan dengan

pengampelasan secara berjenjang menggunakan kertas ampelas bernomor kecil (kasar) hingga besar (halus) yang dilanjutkan dengan pemolesan dengan bantuan serbuk alumina halus (submikron) atau pasta intan.

Karakteristik listrik keramik ditentukan dengan mengukur tahanan listrik yang kemudian dikonversi ke resistivitas listrik pada berbagai suhu dari 30°C hingga 100°C. Dari karakteristik (resistivitas listrik-suhu), konstanta termistor (B), sensitivitas (alfa) dan resistivitas listrik suhu ruang (ρ_{SR}) ditentukan. Karakteristik listrik pelet hasil sinter (1000°C) diukur kembali setelah iradiasi gamma sebesar 50 kGy (dilakukan di PATIR-BATAN Jakarta).

Pembuatan pelet dari serbuk yang diberi perlakuan juga dilakukan. Perlakuan yang dimaksud adalah penggerusan yang gunanya untuk memperkecil ukuran serbuk. Serbuk hasil larut-endap digerus dengan alat penggerus listrik selama 60 menit. Serbuk hasil gerus dipres dengan tekanan 4 ton/cm². Pelet mentah disinter pada suhu 1100 °C dan 1200°C selama 1 jam.



Gambar 1. Bentuk visual serbuk mineral manganit asal P.D. Kerta Pertambangan Jawa Barat.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Pengambilan serbuk oksida dari mineral manganit.

Serbuk asli dari mineral mempunyai komposisi kimia seperti tertera di dalam Tabel 1 (Kolom awal). Serbuk ini kemudian dilarut-endapkan. Pelarutan dilakukan dengan HCl dan pengendapan dilakukan menggunakan NH₄OH. Endapan yang diperoleh melalui penyaringan,

dikeringkan dengan pemanasan pada suhu 100°C selama 18 jam. Endapan kering kemudian dikalsinasi pada suhu 700°C selama 2 jam di udara. Komposisi kimia serbuk hasil larut-endap diperlihatkan pada Tabel 1 (Kolom olahan).

Tabel 1. Komposisi kimia serbuk mineral manganit (awal) dan serbuk oksida mangan hasil larut-endap (olahan).

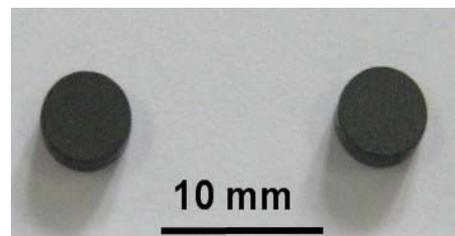
No.	Oksida	Awal	Olahan
		% Berat	% Berat
1.	Mn ₂ O ₃	60,26	53,03
2.	Fe ₂ O ₃	5,78	36,11
3.	SiO ₂	20,00	3,48
4.	Al ₂ O ₃	4,23	4,72
5.	TiO ₂	0,66	0,74
6.	CaO	0,34	0,34
7.	MgO	0,47	0,56
8.	K ₂ O	0,27	0,13
9.	Na ₂ O	0,022	0,03
10.	LOI	7,97	0,85

LOI = Lost of Ignition

Dari Tabel 1, dapat diketahui bahwa pelarutan dan pengendapan telah dapat mengurangi konsentrasi SiO₂. Keberadaan oksida ini dalam jumlah yang besar tidak dikehendaki. Dapat dilihat pula bahwa langkah ini telah meningkatkan konsentrasi Fe₂O₃ secara signifikan dan sedikit meningkatkan konsentrasi oksida Al, Ti dan Mg.

3.2. Penampilan visual

Produk keramik berbentuk pelet yang dibuat dari serbuk oksida mangan hasil larut-endap dari mineral manganit dapat dilihat pada Gambar 2. Pelet hasil sinter secara visual sangat baik tanpa retak.

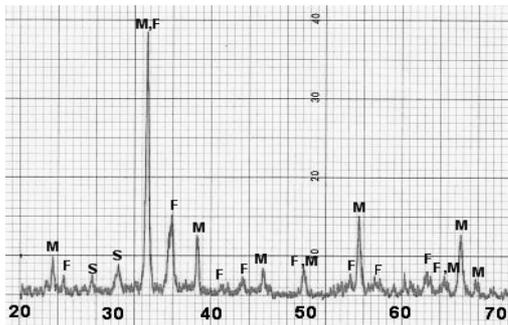


Gambar 2. Penampilan visual pelet keramik hasil sinter yang dibuat dari serbuk oksida mangan hasil pelarutan-pengendapan mineral manganit.

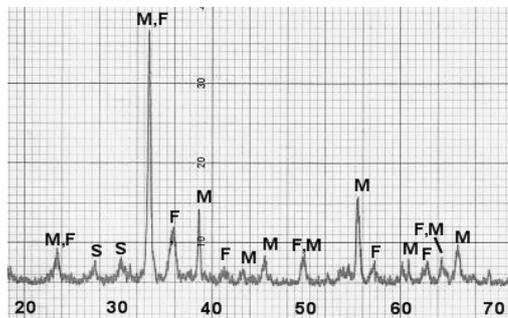
3.3. Analisis Difraksi Sinar-x (XRD)

3.3.1. Serbuk oksida mangan

Serbuk hasil larut endap dan kalsinasi dianalisis dengan difraksi sinar-x (XRD), hasilnya diperlihatkan pada Gambar 3. Dari Gambar 3. ini dapat dilihat bahwa serbuk oksida hasil larut-endap (olahan) terutama mengandung oksida mangan (Mn_2O_3) dan oksida Fe (Fe_2O_3). Dari pola difraksi ini kehadiran oksida lainnya tidak teridentifikasi.



Gambar 3. Pola difraksi serbuk hasil larut endap dan kalsinasi. Memperlihatkan Fe_2O_3 (F) dan Mn_2O_3 (M) sebagai kandungan utama.



Gambar 4. Pola difraksi serbuk hasil larut endap dan kalsinasi yang digerus selama 60 menit. Memperlihatkan Fe_2O_3 (F) dan Mn_2O_3 (M) sebagai kandungan utama.

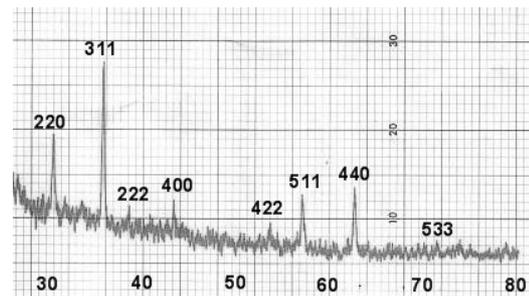
Serbuk hasil larut endap dan kalsinasi sebagian digerus dengan alat gerus listrik selama 60 menit untuk memperkecil ukuran butir serbuk. Dengan harapan serbuk hasil gerus akan memiliki luas permukaan yang lebih besar, yang konsekuensinya memiliki reaktivitas yang lebih baik. Pola difraksi serbuk hasil gerus diperlihatkan pada Gambar 4. Dari Gambar 4, pengaruh penggerusan tidak terlihat dengan jelas. Pola difraksi serbuk sebelum dan sesudah penggerusan sangat identik.

Pengambilan data XRD dengan metode *step counting* mungkin dapat membedakan ukuran serbuk dari serbuk sebelum dan sesudah penggerusan. Selain itu data karakteristik listrik juga dapat digunakan untuk melihat perbedaan akibat penggerusan.

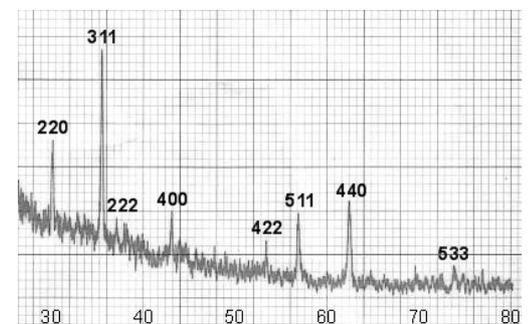
3.3.2. Analisis difraksi sinar-x pelet keramik sinter

Analisis difraksi sinar-x (XRD) juga dilakukan pada pelet yang dibuat dari serbuk hasil larut-endap tanpa gerus dan dengan penggerusan yang disinter pada suhu 1000-1200°C. Hasil analisisnya dapat dilihat pada Gambar 5, 6 dan 7.

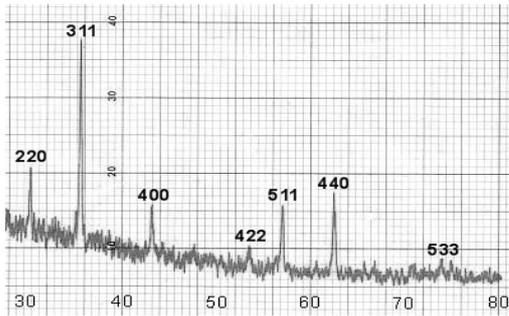
Tampak bahwa semua pelet mempunyai struktur kristal yang sama yaitu spinel kubik. Dari Gambar 5 sampai dengan 7, dapat disimpulkan bahwa oksida utama dari serbuk hasil larut endap yaitu Mn_2O_3 dan Fe_2O_3 telah membentuk keramik larutan padat berstruktur kristal spinel kubik.



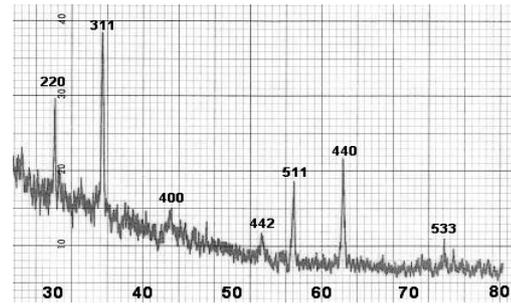
Gambar 5. Pola difraksi pelet yang disinter pada suhu 1000°C selama 1 jam dari serbuk hasil larut endap dari mineral manganit (tanpa gerus). Memperlihatkan struktur spinel kubik.



Gambar 6. Pola difraksi pelet yang disinter pada suhu 1100°C selama 1 jam dari serbuk hasil larut endap dari mineral manganit (tanpa gerus). Memperlihatkan struktur spinel kubik.



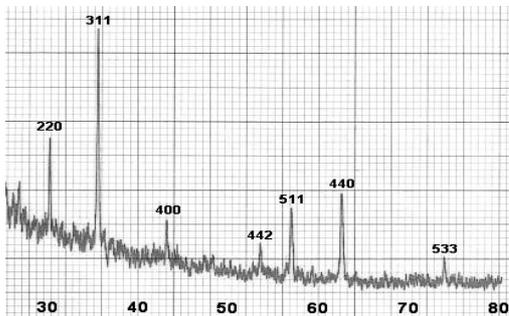
Gambar 7. Pola difraksi pelet yang disinter pada suhu 1200°C selama 1 jam dari serbuk hasil larut endap dari mineral manganit (tanpa gerus). Memperlihatkan struktur spinel kubik.



Gambar 9 . Pola difraksi pelet yang disinter pada suhu 1200°C selama 1 jam dari serbuk hasil larut endap dari mineral manganit yang digerus selama 60 menit dengan penggerus listrik

3.2.2.2 Pelet dari serbuk hasil larut endap dan kalsinasi dengan penggerusan.

Pelet keramik yang dibuat dari serbuk yang diperoleh dengan pelarutan pengendapan serbuk mineral manganit dan kalsinasi pada suhu 700°C selama 2 jam dengan penggerusan yang disinter pada suhu 1000 °C-1200°C juga memiliki struktur kristal spinel kubik seperti diperlihatkan pada Gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Pola difraksi pelet yang disinter pada suhu 1100°C selama 1 jam dari serbuk hasil larut endap dari mineral manganit yang digerus selama 60 menit dengan penggerus listrik.

3.4. Struktur mikro

Struktur mikro keramik yang disinter pada suhu 1000°C dan 1200°C selama 1 jam dari serbuk hasil larut endap diperlihatkan pada Gambar 10a dan 10b. Untuk pelet yang disinter pada suhu 1000°C selama 7 jam diperlihatkan pada Gambar 10c. Sementara struktur mikro keramik yang disinter pada suhu 1100°C dan 1200°C dari serbuk hasil larut endap yang digerus selama 60 menit diperlihatkan pada Gambar 11.

Pengaruh penambahan suhu sinter terhadap ukuran butir pelet hasil sinter lebih terlihat dari pada pengaruh penambahan waktu sinter seperti terlihat pada Gambar 10. Namun pengaruh peningkatan suhu sinter tidak signifikan. Pelet sinter yang dibuat relatif mempunyai butir (*grain*) yang kecil. Ukuran butir akan mempengaruhi sifat listrik keramik.

Seperti terlihat pada Gambar 11, penggerusan selama 60 menit berpengaruh terhadap struktur mikro pelet sinter. Serbuk hasil gerus mempunyai ukuran partikel yang lebih kecil. Serbuk yang ukuran partikelnya kecil mempunyai luas permukaan besar. Pelet dari serbuk ukuran kecil mempunyai butir yang lebih besar karena serbuk ini lebih reaktif sehingga selama penyinteran tumbuh lebih cepat.

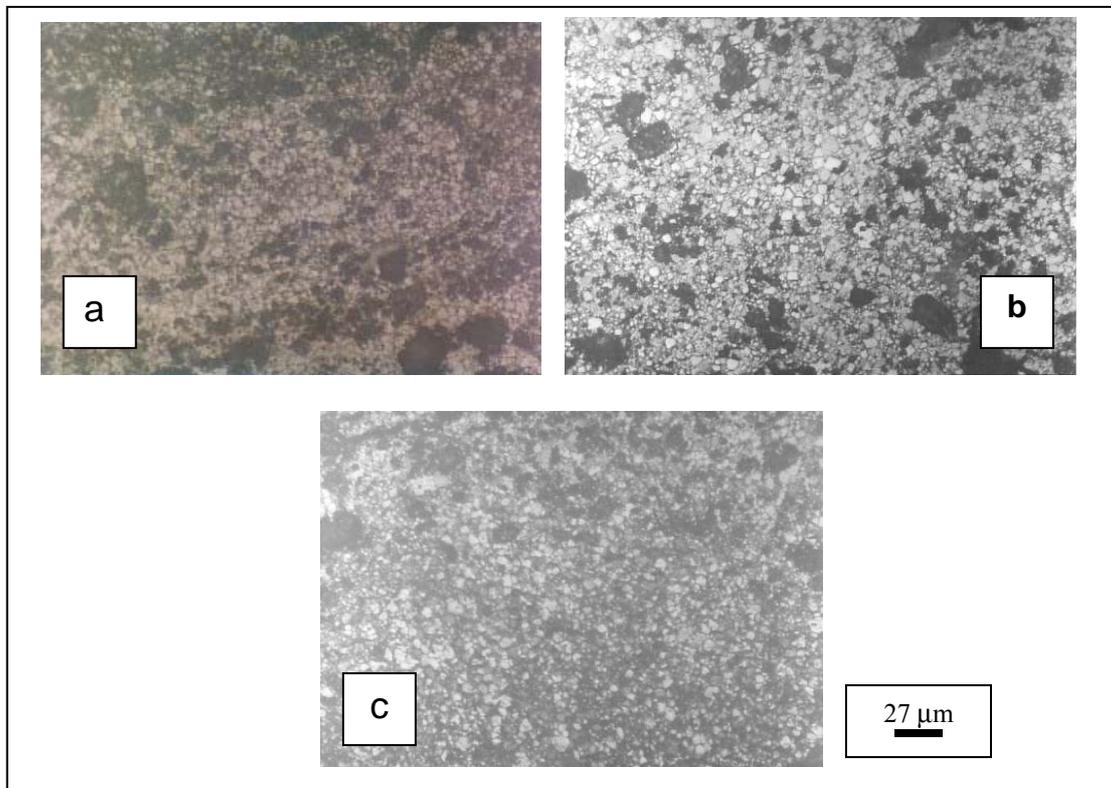
3.5. Karakteristik Listrik

Resistivitas listrik termistor jenis NTC mengikuti persamaan (1) [5,9,10,13-15]. Karakteristik listrik keramik termistor yang dibuat dievaluasi menggunakan persamaan (1) ini. Untuk mendapatkan konstanta termistor (B) dan resistivitas suhu ruang (ρ_{SR}), data yang diperoleh diplot ke dalam kurva ln versus (1/T). Gradien kurva adalah konstanta termistor. Kurva yang diperoleh merupakan garis *fitting* untuk melihat apakah keramik yang dibuat mempunyai sifat NTC atau tidak. Dari kurva tersebut harga resistivitas suhu ruang dapat ditentukan.

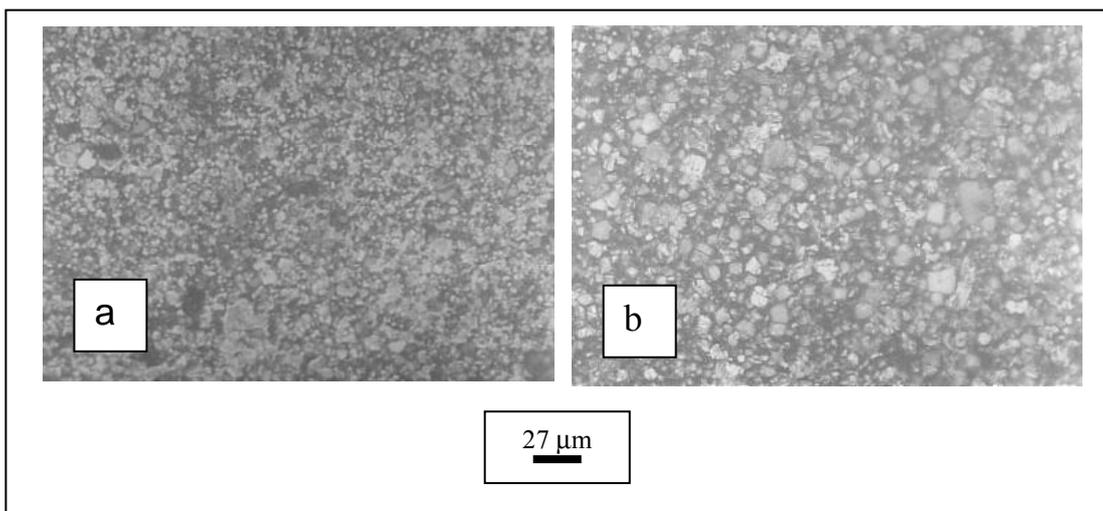
$$\rho = \rho_0 \text{Exp.}(B/T) \dots\dots\dots (1)$$

dengan ρ = Resistivitas listrik pada suhu tertentu (T), ρ_0 = Konstanta atau resistivitas listrik pada suhu tak hingga, B = Konstanta

termistor, dan T = Suhu dalam derajat Kelvin.



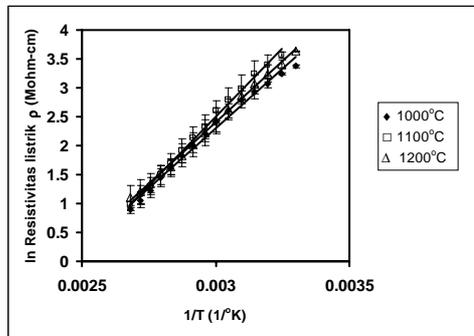
Gambar 10. Struktur mikro pelet keramik hasil sinter dari oksida mangan hasil larut endap mineral manganit, a. Disinter pada suhu 1000°C selama 1 jam, b. Disinter pada suhu 1200°C selama 1 jam dan c. Disinter pada suhu 1000°C selama 7 jam.



Gambar 11. Struktur mikro pelet keramik dari oksida mangan hasil larut endap mineral manganit dan penggerusan mekanik 60 menit disinter pada suhu 1100°C (a) dan 1200°C (b) selama 1 jam.

3.5.1 Karakteristik listrik pelet dari serbuk hasil larut endap tanpa penggerusan

Harga-harga karakteristik listrik keramik oksida mangan (Spinel) dari serbuk hasil larut endap mineral manganit (tanpa gerus) pada berbagai suhu sinter hampir sama sebagaimana terlihat pada Tabel 2.. Tampak pengaruh suhu sinter tidak terlihat dengan jelas. Ini sejajar dengan data struktur mikro pada Gambar 10. Pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa struktur mikro tidak terlalu berubah dengan perubahan suhu sinter. Namun harga-harga karakteristik ini memenuhi harga kebutuhan pasar yaitu $\geq 2000^\circ\text{K}$ untuk konstanta termistor (B) dan 10 ohm.cm-1 Mohm.cm untuk resistivitas listrik suhu ruang (ρ_{SR}).



Gambar 12. Hubungan antara $\ln(ro_{\text{SR}})$ dan $1/T$ keramik oksida Mangan dari serbuk hasil larut endap mineral Manganit (tanpa gerus) yang disinter pada berbagai suhu.

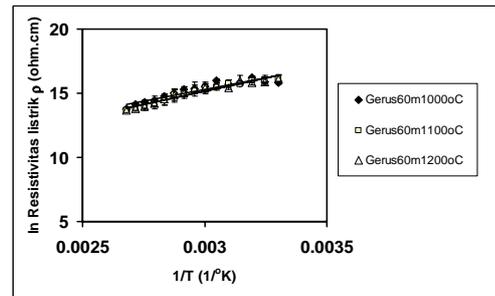
Tabel 2. Karakteristik listrik keramik oksida mangan dari serbuk hasil larut endap serbuk mineral manganit pada berbagai suhu sinter.

No	Suhu sinter (°C)	B (°K)	α (%/°K)	ρ_{SR} (Mohm.cm)
1	1000	4113	4,57	39,37
2	1100	4748	5,28	59,66
3	1200	4216	4,68	45,14

3.5.2. Karakteristik listrik pelet dari serbuk hasil larut endap dengan penggerusan

Seperti terlihat pada Tabel 3, harga-harga karakteristik listrik keramik oksida mangan (Spinel) dari serbuk hasil larut endap mineral manganit dengan penggerusan (selama 60 menit) untuk berbagai suhu sinter hampir sama. Kecenderungan ini mirip dengan karakteristik untuk keramik dari serbuk hasil larut endap

mineral manganit tanpa penggerusan (Tabel 2). Di sini tampak pula pengaruh suhu sinter tidak terlihat dengan jelas. Namun harga-harga karakteristik listrik keramik ini juga memenuhi harga kebutuhan pasar yaitu $\geq 2000^\circ\text{K}$ untuk konstanta termistor (B) dan 10 ohm.cm-1 Mohm.cm untuk resistivitas listrik suhu ruang (ρ_{SR}).



Gambar 13. Hubungan antara $\ln(ro_{\text{SR}})$ dan $1/T$ keramik oksida Mangan dari serbuk hasil larut endap mineral Manganit yang digerus 60 menit dan disinter pada berbagai suhu.

Tabel 3. Karakteristik listrik keramik oksida mangan dari serbuk hasil larut endap serbuk mineral manganit dengan penggerusan 60 menit.

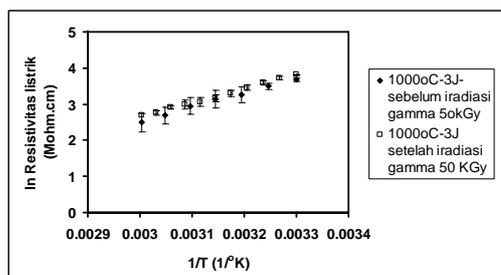
No	Suhu sinter (°C)	B (°K)	α (%/°K)	ρ_{SR} (Mohm.cm)
1	1000	3584	3,98	14,54
2	1100	4159	4,62	15,28
3	1200	4061	4,51	14,75

Dibandingkan dengan keramik oksida mangan (Spinel) dari serbuk hasil larut endap mineral manganit tanpa gerus, harga B keramik hasil gerus sedikit lebih kecil, namun harga untuk resistivitas listrik suhu ruang (ρ_{SR}) perbedaannya cukup besar, dan ini berarti lebih aplikabel. Hal ini disebabkan oleh mengecilnya ukuran partikel serbuk setelah digerus. Makin kecil ukuran serbuk, makin besar reaktivitasnya.

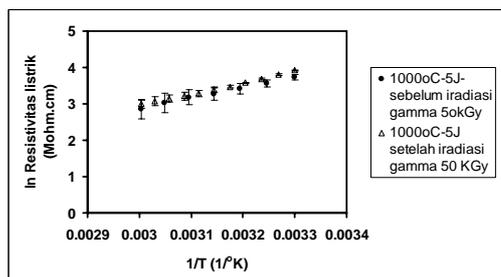
3.5.3. Karakterisasi Listrik Sebelum dan Sesudah Iradiasi - γ (Gamma).

Kurva-kurva pada Gambar 14, 15 dan 16 cenderung berimpit. Kecenderungan kurva-kurva hubungan antara $\ln \rho$ dan $1/T$ dari keramik awal dan setelah iradiasi gamma sebesar 50 kGy untuk berimpit memperlihatkan

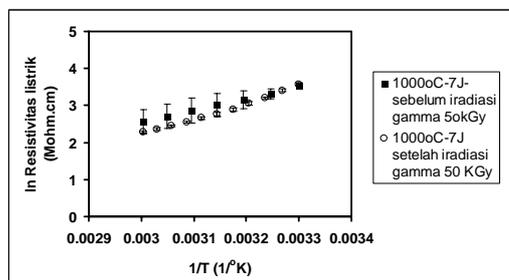
bahwa iradiasi gamma hingga dosis ini tidak terlihat pengaruhnya terhadap karakteristik listrik keramik dari oksida mangan hasil larut endap mineral manganit. Hal ini dapat berarti keramik ini tahan radiasi hingga 50 kGy atau perubahannya terlalu kecil hingga tidak teramati. Pengaruh radiasi gamma juga tidak terlihat meski suhu sinter berubah.



Gambar 14. Hubungan antara $\ln \rho$ (resistivitas) dan $(1/T)$ pelet termistor oksida ferit mangan (spinel kubik) disinter pada suhu sinter 1000°C selama 3 jam sebelum dan sesudah iradiasi gamma dengan dosis 50 kGy.



Gambar 15. Hubungan antara $\ln \rho$ (resistivitas) dan $(1/T)$ pelet termistor oksida ferit mangan (spinel kubik) disinter pada suhu sinter 1000°C selama 5 jam sebelum dan sesudah diirradiasi-gamma dengan dosis 50 kGy.



Gambar 16. Hubungan antara $\ln \rho$ (resistivitas) dan $(1/T)$ pelet termistor oksida ferit mangan ($MnFe_2O_4$) disinter pada suhu sinter 1000°C selama 7 jam sebelum dan sesudah diirradiasi- γ dengan dosis 50 kGy.

4. KESIMPULAN

Hasil analisis XRD memperlihatkan bahwa serbuk hasil larut-endap dari mineral manganit (Dari P.D. Kerta Pertambangan) didominasi oleh oksida Fe (Fe_2O_3) dan Mn (Mn_2O_3) dan keramik yang terbentuk (hasil sinter) cenderung berkrystal spinel kubik dan berbentuk larutan padat $Mn_xFe_{2-x}O_4$. Karakteristik listrik memperlihatkan bahwa keramik ini mempunyai sifat termistor NTC yaitu termistor yang resistivitas listriknya menurun dengan pertambahan suhu dengan resistivitas listrik berorde megaohm dan konstanta termistor (B) relatif besar ($> 2000^\circ K$). Pengaruh iradiasi gamma hingga 50kGy terhadap karakteristik listrik keramik yang terbentuk (*typical*) tidak terlihat.

5. DAFTAR PUSTAKA

- BetaTHERM Sensors [on line]. Available: <http://www.betatherm.com>.
- VIVIANI M., BUSCAGLIA M.T., BUSCAGLIA V., MITOSERIU L., TESTINO A., NANNI P., VLADIKOVA D., Analysis of conductivity and PTC effect in Er-doped $BaTiO_3$ ceramics, J. Euro.Ceram.Soc. 24(2004)1221.
- ZHANG DAOLI, ZHOU DONGXIANG, JIANG SHENGLIN, WANG XIAOHONG, GONG SHUPING, Effects of porosity on the electrical characteristics of current-limiting $BaTiO_3$ -based positive-temperature-coefficient (PTC) ceramic thermistors coated with electroless nickel-phosphorous electrode, Sens. Actua. A 112(2004)94.
- HUO WEIRONG, QU YUANFANG, Effects of $Bi_{1/2}Na_{1/2}TiO_3$ on the Curie temperature and the PTC effects of $BaTiO_3$ -based positive temperature coefficient ceramics, Sens. Actua. A 128(2006)265.
- NA, E. S., PAIK, U.G., CHOI, S.C., "The effect of a sintered microstructure on the electrical properties of a Mn-Co-Ni-O thermistor", Journal of Ceramic Processing Research, Vol.2, No. 1, pp 31-34, 2001.
- MATSUO YOSHIHIRO, HATA TAKUOKI, KURODA TAKAYUKI, US Patent 4,324,702, 1982.
- JUNG HYUNG J., YOON SANG O., HONG KI Y., LEE JEON K., US Patent 5,246,628, 1993.

8. **KAZUYUKI, H., HIROSHI, O.**, US Patent 6,270,693, 2001.
9. **PARK K.**, Microstructure and electrical properties of $\text{Ni}_{1.0}\text{Mn}_{2-x}\text{Zr}_x\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 1.0$) negative temperature coefficient thermistors, Mater. Sci. Eng., B104 (2003)9-14.
10. **PARK K., BANG D.Y.**, “Electrical properties of Ni-Mn-Co-(Fe) oxide thick film NTC thermistors”, J. of Mater. Sci.: Mater. in Elec., Vol.14, (2003)81-87.
11. **FRITSCH SHOPIE GULEMET, SALMI JAOUAD, SARRIAS JOSEPH, ROUSSET ABEL, SCHUURMAN SHOPIE, LANNOO ANDRE**, “Mechanical properties of nickel manganites-based cermics used as negative temperature coefficient thermistors”, Mater. Res. Bull., Vol. 39 (2004)1957-1965.
12. **SCHMIDT, R., BASU, A., BRINKMAN, A.W.**, Production of NTCR thermistor devices based on $\text{NiMn}_2\text{O}_{4+\delta}$, Journal of The European Ceramic Society, Vol. 24, pp. 1233-1236, 2004.
13. **PARK, K., HAN, I.H.**, Effect of Al_2O_3 addition on the microstructure and electrical properties of $(\text{Mn}_{0.37}\text{Ni}_{0.3}\text{Co}_{0.33-x}\text{Al}_x)\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 0.03$) NTC thermistors, Materials Science and Engineering, B119, pp. 55-60, 2005.
14. **WIENDARTUN, DANI GUSTAMAN SYARIF**, The Effect of TiO_2 Addition on the Characteristics of CuFe_2O_4 Ceramics for NTC Thermistors, International Conference on Mathematics and Natural Sciences (ICMNS) 2006, ITB, Bandung, Oktober 2006.
15. **DANI GUSTAMAN SYARIF, GUNTUR, D.S., YAMIN, M.**, Pembuatan keramik termistor NTC berbahan dasar mineral yarosit dan evaluasi karakteristiknya, Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknik Nuklir, P3TkN – BATAN, Bandung (2005).