

KARAKTERISASI TERMISTOR NTC YANG DIBUAT DARI SERBUK HASIL PROSES KOPRESIPITASI MAGNETIT ASAL GARUT

Dani Gustaman Syarif, Guntur D.S., Engkir Sukirman*, Saeful Hidayat.
Puslitbang Teknik Nuklir-BATAN
*P3IB-BATAN

ABSTRAK

KARAKTERISASI TERMISTOR NTC YANG DIBUAT DARI SERBUK HASIL PROSES KOPRESIPITASI MAGNETIT ASAL GARUT. Studi lanjutan pemanfaatan serbuk magnetit asal Garut dengan mengkarakterisasi termistor yang dibuat dari serbuk hasil kopresipitasi telah dilakukan. Termistor dibuat dengan cara mengepres serbuk olahan dengan tekanan 2,3 ton/cm², lalu menyinter pelet hasil pengepresan pada suhu 1100-1400°C selama 1 jam di dalam atmosfer udara. Pelet termistor hasil sinter dianalisis secara metalurgi (termasuk analisis difraksi sinar-X, XRD) dan elektrik untuk mengetahui karakteristik listriknya. Pelet termistor yang cukup kokoh dapat dihasilkan dari penyinteran pada suhu 1100°C-1400°C. Konstanta termistor (B) semakin besar dengan meningkatnya suhu sinter dari 1100°C ke 1300°C, tetapi menurun drastis pada suhu 1400°C. Tahanan jenis listrik suhu ruang (R₀₂₅) dari pelet termistor yang dibuat, cukup besar pada suhu sinter 1100°C-1300°C, tetapi kecil pada suhu 1400°C. Data analisis XRD memperlihatkan bahwa seluruh pelet termistor hasil sinter pada suhu 1100-1400°C di dalam atmosfer udara berstruktur hematit. Dari data visual, rapat massa dan konstanta B (sekitar 6500°K), diketahui bahwa serbuk olahan mempunyai karakteristik yang lebih baik, terutama sinterabilitasnya, dari pada serbuk magnetit (serbuk awal) karena ukuran serbuk yang sangat kecil. Serbuk hasil ko-presipitasi magnetit asal Garut mempunyai potensi besar untuk menjadi bahan dasar termistor NTC.

Kata kunci : magnetit, kopresipitasi, serbuk olahan, termistor, NTC, Garut.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF NTC THERMISTORS PRODUCED FROM POWDER RESULTED IN CO-PRECIPIATION PROCESS OF GARUT-MAGNETITE. A continuation study of an application of Garut-origin magnetite by characterizing thermistors made of co-precipitated magnetite had been carried out. Thermistors were produced by pressing the processed powder with a pressure of 2,3 ton/cm², and sintering the green pellets at 1100°C-1400°C for one hour in air. The sintered thermistor pellets were characterized metallurgically (including X-ray diffraction, XRD) and electrically in order to know their electrical characteristics. Thermistors having suitable strength had been produced by sintering at 1100°C-

Serbuk awal dilarutkan di dalam larutan HCl sehingga diperoleh larutan asam (pH sekitar 1), lalu disaring untuk memisahkan serbuk yang tidak larut. Kemudian larutan hasil penyaringan tersebut ditambahi NH_4OH hingga terbentuk endapan (pH sekitar 8). Endapan yang diperoleh dipanaskan pada suhu 700°C selama 2 jam di dalam atmosfer udara.

Serbuk hasil pemanasan digerus, kemudian dipres dengan tekanan $2,3 \text{ ton/cm}^2$ menjadi pelet mentah (belum disinter). Pelet mentah yang dihasilkan disinter pada suhu berbeda yaitu 1100°C , 1200°C , 1300°C dan 1400°C selama 1 jam di dalam atmosfer udara. Pemilihan suhu dan waktu sinter ini mengacu pada penelitian sebelumnya [2]. Sebagian serbuk dianalisis dengan metode gravimetri, spektrofotometri, volumetri dan AAS (*atomic absorption spectrometry*) di Pusat Penelitian Teknologi Mineral (PPTM) Bandung untuk mengetahui komposisi kimianya.

Kedua sisi pelet sinter diolesi zat konduktif perak, kemudian tahanannya diukur pada suhu yang berbeda dari $30 - 100^\circ\text{C}$. Harga konstanta termistor (B) dan sensitivitas (α) masing-masing dihitung memakai persamaan (3) dan (4).

Untuk melihat ukuran partikel serbuk, patahan pelet mentah dipotret menggunakan SEM. Sebagian pelet sinter dihaluskan hingga membentuk serbuk, lalu dianalisis dengan difraksi sinar-X (XRD). Pelet sinter juga dianalisis menggunakan Mikroskop Optik, setelah melalui pengampelasan secara berjenjang dengan kertas amplas yang berbeda ukuran (nomor), lalu dilakukan pemolesan dan pengetsaan secara termal. Secara skematis proses percobaan dapat dilihat pada Gambar 1.

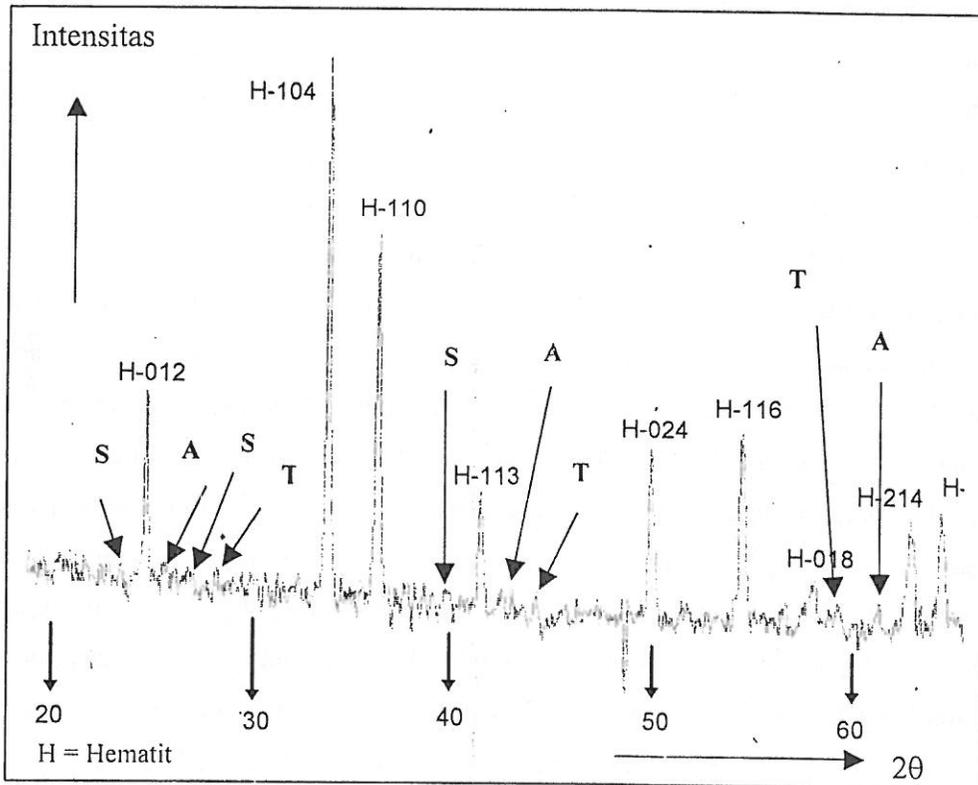
HASIL PERCOBAAN DAN DISKUSI

Komposisi Kimia

Serbuk yang diperoleh dari penggerusan batuan mineral magnetit asal Garut dan pencucian dengan air disebut sebagai serbuk awal. Sementara itu, serbuk yang diperoleh dari hasil pemanasan (kalsinasi) endapan pada suhu 700°C sesuai proses Gambar 1 disebut sebagai serbuk olahan. Untuk melihat komposisi kimia serbuk olahan, dilakukan analisis kimia di Pusat Penelitian Teknologi Mineral (PPTM) Bandung. Hasil analisisnya diperlihatkan pada Tabel 1. Selain itu untuk melihat struktur kristal dari fase-fase yang terjadi, serbuk olahan juga dianalisis dengan difraksi sinar-X (XRD). Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa sebagian besar serbuk terdiri dari Fe_2O_3 (besi oksida). Berdasarkan analisis difraksi sinar-X pada Gambar 2, dan dengan menggunakan pola difraksi standar Hematit dari JCPDS No.33-0664 [5] sebagai pembanding, diketahui bahwa besi yang dikandung memang berbentuk Fe_2O_3 (Hematit/Corundum). Kandungan Fe_2O_3 di dalam serbuk olahan (hasil pelarutan mineral magnetit asal Garut dan hasil pemanasan 700°C selama 2 jam) relatif tinggi (87,86 %), jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan Fe_2O_3 pada serbuk awal Tabel 2 [2]. Kandungan sebesar ini cukup ekonomis untuk dimanfaatkan.

Gambar 2 memperlihatkan puncak-puncak difraksi yang mayoritas berasal dari serbuk hematit. Puncak tambahan yang berasal dari material ikutan khususnya SiO_2 , TiO_2 dan Al_2O_3 dapat diidentifikasi, meski dengan intensitas yang sangat kecil. Jika dibandingkan dengan material awal pada Tabel 2 [2], konsentrasi material ikutan pada material hasil olahan lebih kecil. Hal ini memberi arti bahwa serbuk hematit yang diperoleh telah mengalami pengurangan konsentrasi material.

Diperolehnya kandungan Fe_2O_3 yang tinggi memperlihatkan bahwa pelarutan serbuk magnetit asal Garut dengan larutan HCl dapat meningkatkan konsentrasi oksida

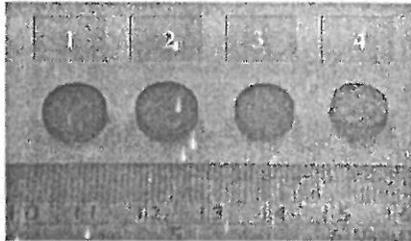


Gambar 2. Pola difraksi serbuk olahan. Tampak puncak utama berasal dari matriks Fe_2O_3 dan puncak tambahan A (Al_2O_3), T (TiO_2) dan S (SiO_2).

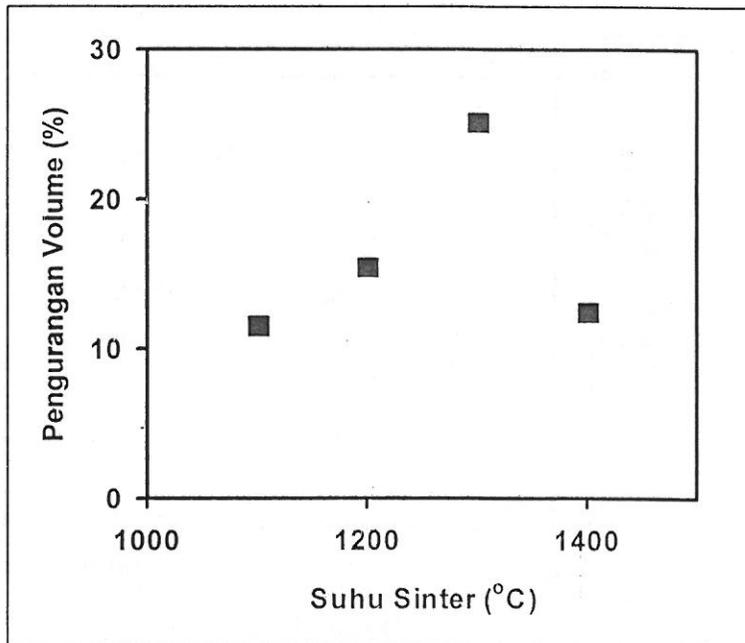
Penampilan Visual dan Rapat Massa

Pelet termistor yang dibuat dari serbuk olahan disinter pada suhu 1100°C - 1400°C , dan hasilnya memperlihatkan penampilan visual yang baik (Gambar 3), kecuali pelet yang disinter pada suhu 1400°C (No. 4 dari kiri). Pelet termistor yang baik berbentuk silinder pejal yang mulus (tidak terdeformasi) setelah penyinteran, tetapi pelet termistor yang disinter pada suhu 1400°C tidak mulus karena mengandung

adalah terbentuknya rongga di tengah pelet (lihat tanda panah). Hal ini yang menyebabkan rapat massa (juga penyusutan) pelet yang disinter pada suhu 1400°C rendah, lebih rendah dari pada pelet yang disinter pada suhu 1100°C - 1300°C .



Gambar 3. Penampilan visual pelet termistor hasil sinter (skala dalam cm). Pelet nomor 1-4 masing-masing disinter pada suhu 1100°C , 1200°C , 1300°C dan 1400°C .



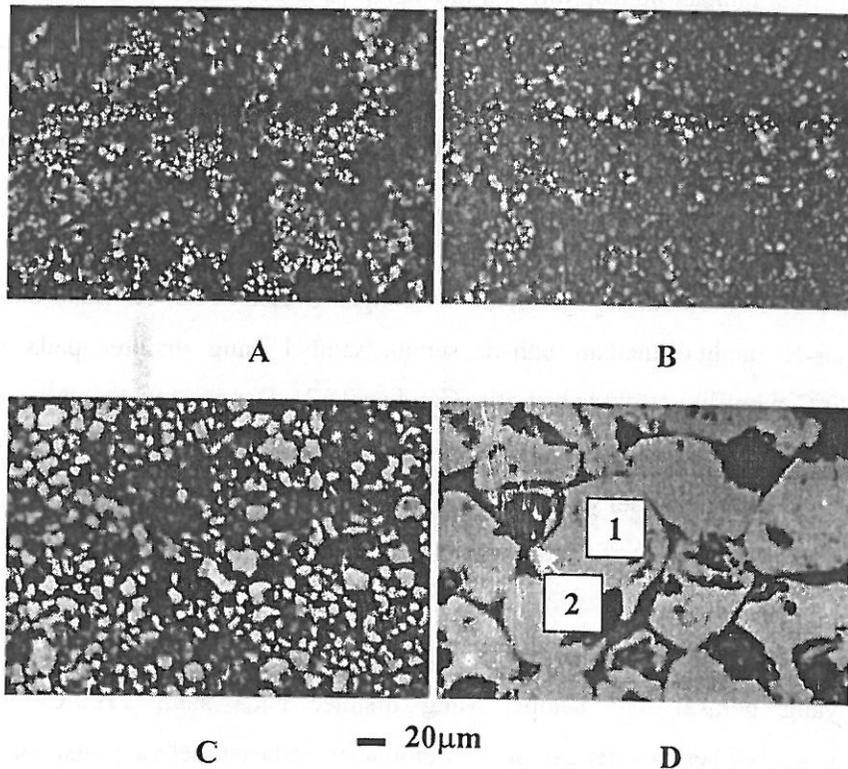
Gambar 4. Penyusutan volume pelet termistor sebagai fungsi suhu sinter.

Struktur Mikro

Ukuran butir serbuk hasil kalsinasi pada suhu 700°C selama 2 jam dapat dilihat pada Gambar 7. Berdasarkan Gambar 7, ukuran partikel serbuk yang diperoleh adalah sekitar 1,5 μm . Ukuran partikel serbuk ini jauh lebih kecil dari pada ukuran partikel serbuk magnetit awal (sekitar 100 μm) [2]. Hal ini memperlihatkan bahwa kopersipitasi menggunakan HCl bermanfaat dalam mengurangi ukuran partikel serbuk, di samping bermanfaat dalam mengurangi konsentrasi material ikutan dan memperbesar kadar Fe_2O_3 .

Proses metalografi telah dilakukan untuk sampel yang disinter pada suhu 1100°C sampai dengan 1400°C dan hasilnya diperlihatkan pada Gambar 8. Seperti terlihat pada Gambar 8, terdapat kecenderungan bahwa ukuran butir makin besar dengan naiknya suhu sinter, yang berarti bahwa dengan naiknya suhu sinter, kontak antar butir semakin baik. Perubahan ukuran butir dari suhu sinter 1100°C ke 1300°C tampak tidak signifikan. Tetapi perubahan ukuran butir dari suhu 1300°C ke 1400°C terjadi sangat signifikan. Pertumbuhan butir yang signifikan pada suhu sinter 1400°C disebabkan oleh adanya pengaruh senyawa tertentu yang terbentuk pada suhu ini, yang mempunyai titik leleh relatif rendah. Senyawa ini selama penyinteran telah mengaktifasi pertumbuhan butir melalui mekanisme penyinteran fase cair. Hal ini ditandai oleh terbentuknya butir yang cenderung bundar (*rounded grains*) seperti dapat dilihat pada Gambar 8 D. Pada selang suhu 1100°C-1300°C, penyinteran yang terjadi hanya penyinteran fase padat. Berdasarkan hasil analisis kimia pada Tabel 1, kemungkinan material yang meleleh selama penyinteran pada suhu 1400°C adalah kombinasi dari oksida Fe, Si dan Al.

Dibandingkan dengan struktur mikro pelet termistor pada penelitian sebelumnya [2], struktur mikro sampel pada penelitian ini sangat jauh berbeda, terutama pada sampel yang disinter pada suhu 1100°C – 1300°C. Pada selang suhu ini, sampel seluruhnya terdiri atas matriks Fe_2O_3 . Sementara pada struktur mikro sampel



Gambar 8. Struktur mikro pelet termistor disinter pada berbagai suhu. (A) 1100°C, (B). 1200°C, (C). 1300°C dan (D). 1400°C. Warna hitam adalah rongga/pori, kode 1: butir dan kode 2: material batas butir.

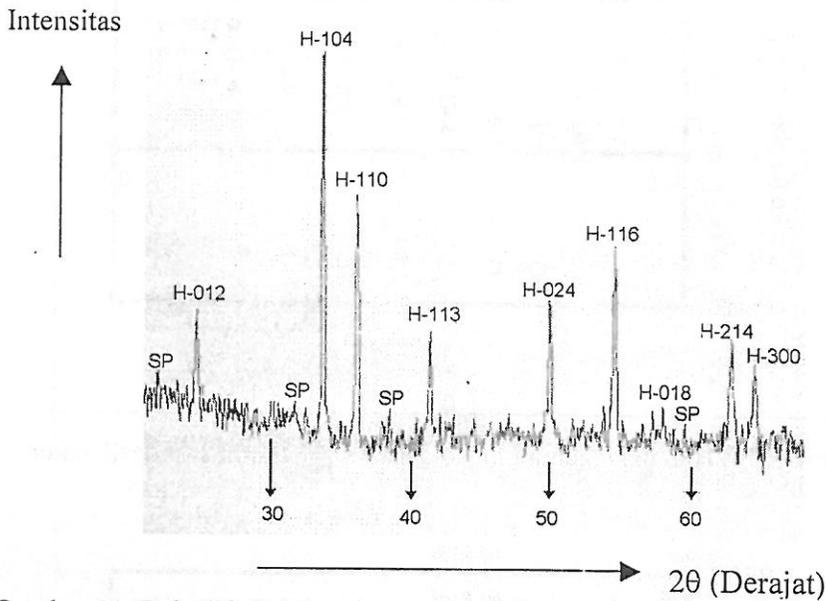
Analisis difraksi sinar-X

Serbuk olahan dianalisis menggunakan difraksi sinar-X (XRD) untuk mengetahui fase-fase yang terkandung. Pola difraksinya diperlihatkan pada Gambar 2. Dengan membandingkan data pola difraksi Gambar 2 dengan data pola difraksi standar untuk hematit (Fe_2O_3) dari JCPDS-33-0664 [5], diketahui bahwa serbuk olahan

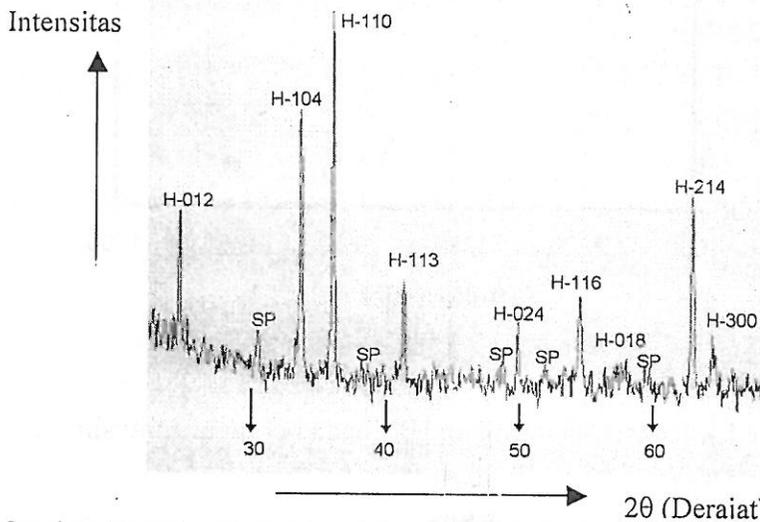
hubungan antara $\ln R$ dan $1/T$ pada Gambar 13 tampak linear. Hal ini menunjukkan bahwa termistor yang diperoleh dari serbuk hasil pemurnian serbuk mineral magnetit asal Garut (serbuk olahan) mempunyai sifat NTC yang memenuhi persamaan (1). Kurva pada Gambar 13 mempunyai gradien yang berbeda-beda pada suhu penyinteran yang berbeda. Gradien kurva ini dijadikan indikator kualitas termistor yang disebut sebagai konstanta termistor (B). Selain harga B , sensitivitas termistor (α) juga menjadi ukuran kualitas termistor. Harga B dan (α) untuk suhu 27°C (300°K) pada berbagai suhu sinter diperlihatkan pada Gambar 14 dan 15. Konstanta B semakin besar ketika suhu sinter naik dari 1100°C ke 1300°C , tetapi turun kembali dan semakin kecil ketika suhu sinter meningkat ke 1400°C . Data ini menunjukkan bahwa suhu sinter optimum terletak antara 1300°C dan 1400°C . Tahanan termistor pada suhu ruang (R_{025}) semakin kecil dengan meningkatnya suhu sinter sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 14. Tetapi R_{025} cenderung konstan pada selang suhu 1100°C - 1300°C . Perubahan tahanan listrik suhu 25°C (R_{025}) ini berkaitan dengan struktur mikro dan derajat penyinteran keramik termistor. Kontak antar butir semakin baik dengan meningkatnya suhu sinter. Pada suhu 1100°C - 1300°C derajat penyinteran (*degree of sintering*) pelet meningkat sebagaimana ditunjukkan oleh data rapat massa, dan pengurangan batas butir juga terjadi meski tidak signifikan, tetapi tahanan suhu 25°C untuk ketiga suhu sinter ini hampir sama. Perubahan derajat penyinteran yang tidak signifikan tampaknya menjadi penyebab tidak terlihatnya perubahan tahanan suhu ruang. Anomali terlihat pada pelet yang disinter pada suhu 1400°C . Meskipun data rapat massa pelet ini kurang baik (rapat massa cenderung turun), tetapi harga (R_{025}) nya sangat rendah. Pelet yang disinter pada suhu 1400°C , meskipun rapat massanya relatif sama dengan pelet yang disinter pada suhu 1300°C (karena terbentuknya rongga yang ditinggalkan material yang menguap selama penyinteran), mengalami pengurangan batas butir. Sehingga R_{025} untuk pelet ini sangat rendah.

asal Garut mempunyai potensi komersil, dan berarti pula mineral magnetit mempunyai potensi untuk menjadi bahan dasar termistor NTC, meskipun untuk mencapai tingkat komersial sesungguhnya, masih diperlukan proses yang panjang. Besarnya harga B dari termistor yang dibuat pada penelitian ini memperlihatkan pula bahwa material ikutan tidak menghilangkan sifat termistor serbuk magnetit dari mineral magnetit asal Garut. Terdapat kemungkinan bahwa sebagian material ikutan mempunyai kontribusi positif pada pembentukan sifat termistor yang dihasilkan. Untuk mengetahui material ikutan mana yang berpengaruh positif dan mana yang negatif terhadap pembentukan sifat termistor ini memerlukan penelitian lanjutan.

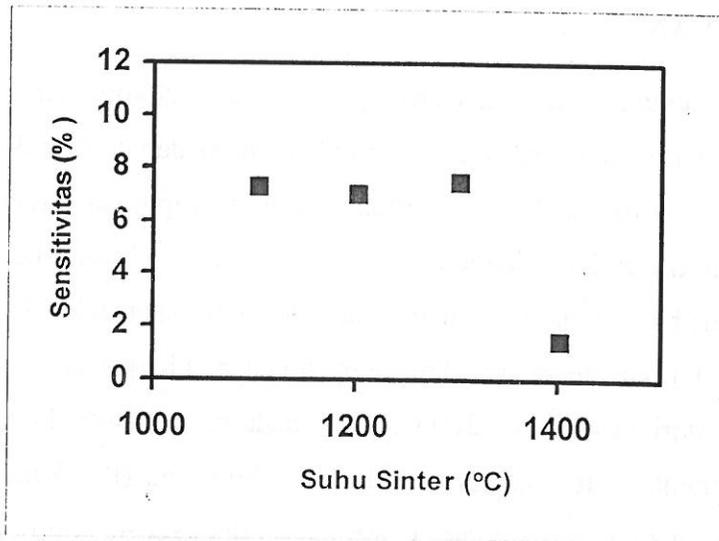
Peningkatan harga B karena peningkatan suhu pada selang suhu 1100°C-1300°C tidak signifikan. Kontribusi peningkatan suhu tidak terlihat dengan jelas. Peningkatan harga B dengan peningkatan suhu sinter mencapai optimum pada suhu 1300°C, dan di atas suhu ini (1400°C) harga B turun. Pada suhu 1400°C cacat yang terdapat di dalam sampel tidak sensitif terhadap suhu.



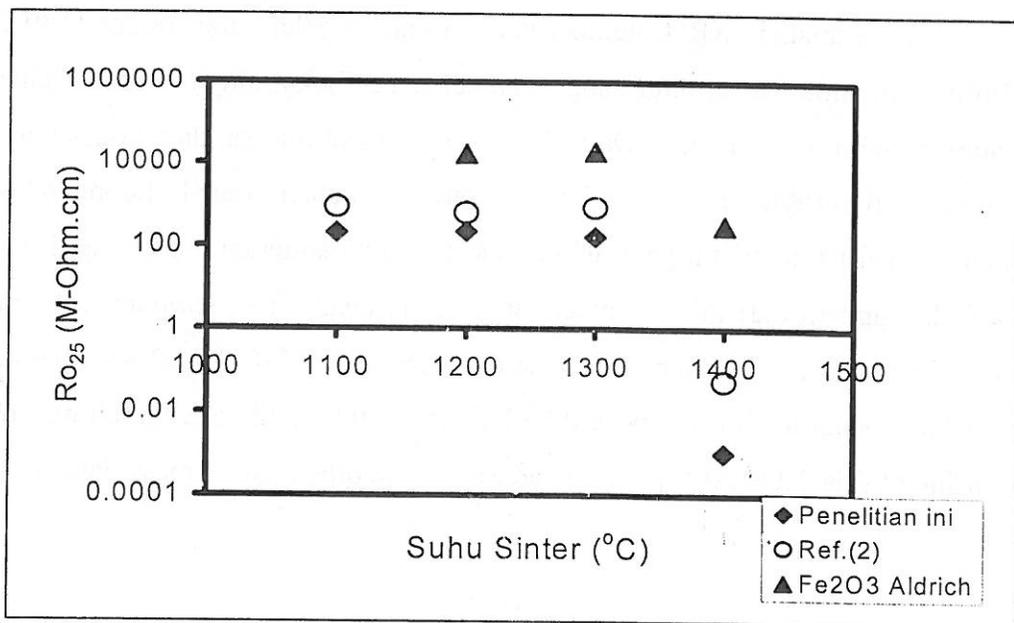
Gambar 11. Pola difraksi termistor yang disinter pada suhu 1300°C. Tampak kehadiran puncak tambahan dari fase kedua (SP).



Gambar 12. Pola difraksi termistor yang disinter pada suhu 1400°C. Tampak kehadiran puncak tambahan dari fase kedua (SP).



Gambar 15. Sensitivitas termistor (α) pada berbagai suhu sinter.



Gambar 16. Hubungan antara Ro pada suhu 25°C (Ro₂₅) dan suhu sinter.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Drs. Asep Dimiyati dari Dinas Pertambangan dan Agribisnis Pemda Kabupaten Garut yang telah memberi penulis sampel mineral magnetit, Sdr.Kusmantri dan Budi Dharmono dari Kelompok Teknologi Proses Bahan yang telah membantu dalam pemolesan sampel.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASEP DIMYATI, Dinas Pertambangan dan Agribisnis Pemda Kabupaten Garut, Private communication, Garut, 2003.
2. DANI GUSTAMAN SYARIF, Studi awal pemanfaatan mineral magnetit sebagai bahan dasar thermistor NTC, Sedang dalam proses publikasi di Jurnal MESIN, Universitas Trisakti.
3. M. PARLAK, T. HASHEMI, M.J. HOGAN, A.W. BRINKMAN, Electron beam evaporation of nickel manganite thin-film negative temperature coefficient thermistors, Journal of materials science letters 17 (1998)1995.
4. ANONYMOUS, NTC Thermistors, www.betatherm.com.
5. ANONYMOUS, Pola difraksi standar untuk Hematit, JCPDS No. 33-0664.
6. R. NATHAN KATZ, Advanced ceramics: NTC Thermistors, www.ceramicindustry.com.
7. ANONYMOUS, NTC Thermistors, AVX/TPC, www.avxcorp.com.
8. JUNG, Metal oxide group thermistor material, US Patent 5.246.628, September 1993.W.D. KINGERY, H.K. BOWEN, D.R. UHLMANN, Introduction to ceramics, John Wiley&Sons, NY, 1976.

SEISMIC HAZARD ANALYSIS OF THE BANDUNG TRIGA 2000 REACTOR SITE

Rizkita Parithusta¹, Sindur P. Mangkoesobroto²

¹ Indonesian Center for Earthquake Engineering, and Research & Development - National Seismological Center - Meteorological & Geophysics Agency.

² Indonesian Center for Earthquake Engineering, & Inter University Research Center for Engineering Sciences, and Civil Engineering Department, Institute of Technology Bandung.

ABSTRACT

SEISMIC HAZARD ANALYSIS OF THE BANDUNG TRIGA 2000 REACTOR SITE. A seismic hazard analysis of the West Java region is carried out to estimate the peak ground acceleration at the Bandung TRIGA 2000 nuclear reactor site. Both the probabilistic and deterministic approaches are employed to better capture the uncertainties considering the enclosing fault systems. Comprehensive analysis is performed based on the newly revised catalog of seismic data, the most recent results of the construction of seismogenic structures, and on the up dated information on the geology and the seismicity of the region. Source parameters such as *b*-value, slip rate and maximum magnitude are reassessed for each seismic source. As none attenuation equation is available for the region, those developed some where else are used in the study, *i.e.*, Abrahamson & Silva (1997); Boore, Joyner & Fumal (1998); Boore & Atkinson (1997); Campbell & Bozorgnia (2003); Sadigh (1997); Spudigh (1997); and Young (1997). They are properly selected by considering the fault and subduction systems in question and are incorporated in the logic tree models derived herein based on the total probability theorem. The objective is to generate a horizontal three dimensional uniform risk spectral acceleration as dependent on the period as well as the return period for rock that is characterized by its average shear wave velocity of $V_s = 1.050$ m/s. A particular value of 0.172g is obtained as the peak ground acceleration for the site with its return period of 500 years.

Key words: Seismic hazard analysis, nuclear reactor, TRIGA 2000, logic tree, total probability, uniform risk.