

PENGARUH SUHU DAN WAKTU *SINTER* TERHADAP PENUMBUHAN FASA SUPERKONDUKTOR $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$

Yustinus Purwamargapratala, Didin S Winatapura dan Engkir Sukirman

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN)-BATAN

Kawasan Puspipstek, Serpong 15314, Tangerang

ABSTRAK

PENGARUH SUHU DAN WAKTU *SINTER* TERHADAP PENUMBUHAN FASA SUPERKONDUKTOR $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$. Superkonduktor merupakan bahan yang mempunyai nilai resistansi nol pada suhu kritis dan dapat disintesis melalui berbagai metode. Bahan ini digunakan untuk berbagai *device* piranti elektronik. Pada penelitian ini $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ disintesis dari garam nitrat Gd, Ba dan Cu di dalam garam cair urea. Campuran tersebut dipanaskan dan diaduk pada suhu 120 °C selama 16 jam, kemudian dipanaskan hingga kering. Hasil ini digerus dan disinter dengan suhu bervariasi 800 °C hingga 950 °C dan masing-masing divariasikan selama 1 jam hingga 20 jam. Hasil dianalisis dengan SEM, EDS, difraktometer sinar-X dan uji efek *Meissner*. Analisis menunjukkan bahwa fasa $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ terbentuk semakin sempurna mulai *sinter* pada suhu 925 °C selama 20 jam. Kondisi optimum sinter 950 °C 5 jam.

Kata kunci : Penumbuhan fasa superkonduktor $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$, Suhu, Waktu, *Sinter*

ABSTRACT

INFLUENCE OF TEMPERATURE AND TIME SINTERING TO FORMING OF SUPERCONDUCTOR $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ PHASE. Superconductor materials have zero resistance in critical temperature, that was sintered by some methods. This material can be applied for electronic device. $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ was synthesized by Gd, Ba, and Cu nitrate salt in urea. Mixture solution heated and swirled at temperature 120 °C during 16 hours and heated till run dry. Result of grounded and dried then sintering with varied temperature 800 °C to 950 °C and each variation for until 1-20 hours. The result of SEM, EDS, X-ray diffractometer, and Meissner effect measurement were indicate that in each condition formed of $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ phase. The $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ phase progressively perfect with 925 °C since 20 hours. The optimum sintering condition is 950 °C 5 hours.

Key words : Plant of phase $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ superconductor, Temperature, Time, Sinter

PENDAHULUAN

Superkonduktor merupakan bahan yang mempunyai nilai resistansi nol pada suhu kritis, seperti $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ dengan metode *solid state reaction* mempunyai nilai suhu kritis 95 K hingga 98 K [1]. Pada suhu kritis tersebut semua elektron yang melalui suatu media superkonduktor akan mengalir dengan sangat cepat karena tidak ada penahan. Superkonduktor dimanfaatkan sebagai bahan *device* pada piranti-piranti elektronik, seperti komputer dan media telekomunikasi.

Berbagai jenis bahan superkonduktor telah disintesis melalui metode reaksi padat maupun reaksi basah, misalnya YBa_2Cu_3O , $LaSr_2O_4$, $HgBO$ dan $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$. Superkonduktor $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ dengan suhu kritis yang tinggi, 95 K hingga 98 K, mempunyai peluang lebih besar untuk diterapkan sehingga bahan ini *relevant* untuk diteliti lebih lanjut.

Sintesis superkonduktor $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ dengan $x = 0-1$ telah dilakukan menggunakan metode reaksi padat (*solid state reaction*). Dari hasil penelitian tersebut

didapat bahwa nilai rapat arus kritis, T_c adalah antara 95 K hingga 98 K [1]. Telah dilakukan penelitian sifat-sifat magnetik dari superkonduktor $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ pada suhu rendah dan suhu tinggi [2].

Penelitian lain menunjukkan bahwa superkonduktor $YBaCuO_{7-x}$ dengan $x = 0-1$ mempunyai rapat arus kritis 90 K, sedangkan metode reaksi kimia basah menggunakan gliserol didapatkan nilai T_c 80 K [3], dan dengan menggunakan urea dapat menghasilkan nilai $T_c = 87$ K hingga 92 K [4].

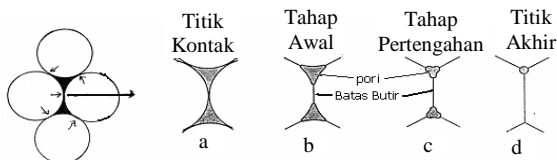
Fasa $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ dapat terbentuk melalui perlakuan *sintering* pada suhu dan waktu yang tertentu, yang diindikasikan antara lain dengan difraktogram. Kualitas bahan superkonduktor secara kualitatif diindikasikan dengan morfologi bentuk batang dan homogen, difraktogram yang sesuai dengan standar, dan menunjukkan efek *Meissner* dan secara kualitatif kualitas superkonduktor diperiksa dengan (*Energy Dispersive Spectrume EDS*) untuk mengetahui stoikiometri Gd, Ba

dan Cu. Sedangkan nilai rapat arus kritis dan nilai suhu kritis sebagai data kualitatif akan dilakukan pada penelitian lanjutan. Suhu kritis adalah suhu dari bahan superkonduktor yang pada saat tersebut resistansi bahan bernilai nol, sedangkan rapat arus kritis adalah suatu nilai yang menunjukkan jumlah muatan yang dapat mengalir per meter persegi pada bahan superkonduktor.

Dalam penelitian ini dilakukan penumbuhan superkonduktor dengan berbagai variasi suhu dan waktu *sintering* sehingga dapat diketahui fasa $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ mulai terbentuk dan dapat ditentukan kondisi optimum pembentukannya.

TEORI

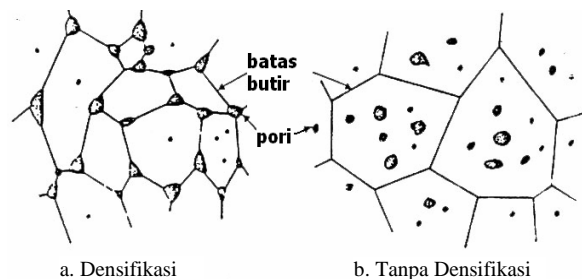
Pada sintesis superkonduktor $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ dilakukan pengompakan untuk memberikan bentuk dan ukuran tertentu yang disebut pelet. Pengompakan ini bertujuan untuk meningkatkan densitas pelet sehingga memudahkan dalam *penyinteran*[5]. Dalam proses pengompakan serbuk akan terjadi gesekan antar partikel serbuk yang menyebabkan pengelasan dingin. Akibatnya terbentuk titik kontak antar partikel serbuk. Keberadaan titik kontak antar partikel serbuk dalam pelet akan menjamin adanya kelangsungan pertukaran atom-atom dalam proses *penyinteran* selanjutnya, sehingga kenaikan densitas pelet *sinter* akan meningkat. Makin halus ukuran serbuk yang digunakan dalam pembuatan pelet makin banyak titik kontak antar partikel sehingga akan memudahkan proses *sinter*[6].



Gambar 1. a Bentuk titik kontak antar partikel serbuk dalam pelet mentah, b. Pembentukan awal batas butir., c. Pembesaran batas butir tahap pertengahan dan pengecilan pori, d. Bentuk batas butir pada akhir *sintering*

Proses *sintering* berawal dari titik kontak antara partikel serbuk dalam kompakan (Gambar 1a), kemudian titik kontak tersebut bertambah luas dan membentuk *neck* (leher), lalu berubah menjadi batas butir. Pada saat yang bersamaan, rongga antar partikel serbuk mengecil dan membentuk pori. Tenaga penggerak adalah energi permukaan (*surface energy*) seperti yang tertera dalam Gambar 1b. Batas butir bertambah besar dan porinya mengecil secara signifikan, sehingga terjadi densifikasi atau *shrinkage* pelet dengan cepat (Gambar 1c). Biasanya terjadi selama kenaikan suhu hingga suhu puncak. Pori yang sebelumnya berbentuk silinder berubah menjadi spherical kemudian mengecil dan tereliminasi dari batas-butir atau terisolasi dalam butir. Pori yang terisolasi dalam butir masih dapat diperkecil.

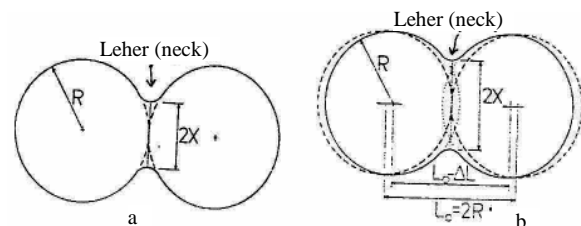
Dengan demikian jumlah titik kontak antar partikel serbuk dalam kompaknya sangat berpengaruh terhadap laju *penyinteran* atau densifikasi pelet karena proses *sintering* berawal dari titik kontak tersebut. Makin banyak jumlah titik kontak tersebut makin cepat densifikasi pelet [7]. Semakin banyak jumlah titik kontak tersebut maka makin rendah suhu *sintering* yang dibutuhkan pelet dalam *penyinterannya*. Jumlah titik kontak antar partikel tentu juga lebih banyak dan perambatan panas dalam pelet juga lebih cepat, akibatnya laju densifikasi atau laju *penyinteran* lebih tinggi sehingga suhu *penyinterannya* lebih rendah seperti diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Akibat ada densifikasi, Pori yang terdapat pada ujung batas butir (a), Pori yang terisolasi dalam butir (b).

Mekanisme *sintering* terbagi atas *surface transport* dan *bulk transport*. Mekanisme *sintering surface transport* adalah mekanisme yang disebabkan adanya aliran atau perpindahan masa dari permukaan ke permukaan partikel serbuk, yang mengakibatkan pertumbuhan *neck*. Akan tetapi kedua partikel serbuk tersebut tidak mengalami *shrinkage* (pengkerutan) sehingga peletnya tidak terdensifikasi (tidak mengalami perubahan dimensi). Mekanisme *surface transport* meliputi difusi permukaan dan evaporasi kondensasi yang biasanya terjadi pada tahap awal *sintering*.

Mekanisme *sintering bulk transport* adalah mekanisme yang disebabkan adanya aliran atau perpindahan masa dari dalam partikel serbuk (sumber masa *internal*) ke daerah *neck* sehingga pertumbuhan *neck* semakin cepat. Mekanisme ini meliputi difusi *volume* (kisi), difusi batas butir dan aliran plastis. Dalam mekanisme ini terjadi *shrinkage* partikel serbuk atau densifikasi pelet, (seperti terlihat pada Gambar 3 bahwa kedua pusat partikel serbuk saling mendekat).



Gambar 3. a. Perpindahan permukaan (*surface transport*), b. Perpindahan muatan partikel (*bulk transport*)

Mekanisme ini biasanya terjadi pada tahap pertengahan dan tahap akhir *sintering*.

Dengan variasi suhu dan waktu *sintering* maka diharapkan dapat diamati tahapan penumbuhan fasa $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$. Pengamatan tahapan penumbuhan tersebut dilakukan dengan cara uji efek *Meissner*, membandingkan morfologi dan difraktogram dari setiap sampel dibandingkan dengan standar *JCPDS* untuk $GdBa_2Cu_3O_7$. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi mengenai suhu dan waktu yang optimum untuk proses *sintering* $GdBa_2Cu_3O_7$.

METODE PERCOBAAN

Bahan

Gadolinium nitrat, Barium nitrat dan Copper nitrat dari *Merck* dalam pro analisis. Sebagai pelarut digunakan urea dari *Merck*.

Alat

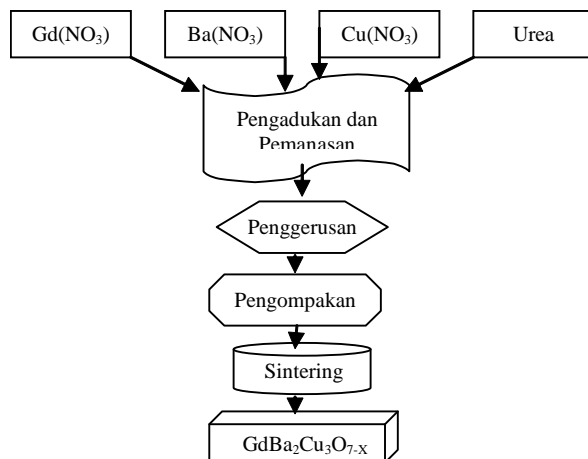
Difraksi sinar-X (*XRD*), Mikroskop sapuan elektron (*SEM*) dan *Energy Dispersive Spectrume* (*EDS*).

Cara Kerja

Gadolinium nitrat, barium nitrat dan copper nitrat dengan perbandingan stoikiometri Gd : Ba : Cu = 1 : 2 : 3 ditambah urea dengan perbandingan berat 1 : 1. Campuran diaduk dan dipanaskan pada pengaduk dan pemanas magnet pada suhu 120 °C selama 16 jam sehingga campuran melarut kemudian mengering kembali.

Selanjutnya bahan dipanaskan tanpa pengadukan untuk penghilangan zat-zat *volatile*, dilakukan pendinginan udara dan penggerusan. Hasil penggerusan disinter pada suhu antara 800 °C, 850 °C, 900 °C, 925 °C dan 950 °C dengan variasi waktu 1 jam, 5 jam, 10 jam, 15 jam dan 20 jam.

Hasil *sintering* digerus dan dikarakterisasi menggunakan difraksi sinar-X dengan kondisi

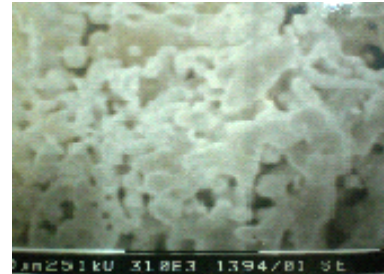


Gambar 3. Diagram alir pembuatan $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$

pengukuran 30 V, arus 30 mA, sudut difraksi 10° hingga 70°, kecepatan sapuan 2°/menit dan target $CuK\alpha$. Pengamat morfologi menggunakan mikroskop sapuan elektron (*SEM*) dan *EDS* untuk penentuan komposisi kimia mikro dari Philips Model 515.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kajian morfologi dari serbuk hasil perlakuan panas selama 1 jam dengan suhu yang divariasi dari 800 °C sampai 950 °C (Gambar 4) menunjukkan bahwa partikel yang terbentuk masih berupa butir-butir yang tak beraturan dan mempunyai kecenderungan ukurannya membesar pada suhu yang lebih tinggi, namun demikian sampai pemanasan 950 °C tak terlihat adanya batas butir yang jelas sebagai salah satu identifikasi munculnya fasa $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$.



Gambar 4. Morfologi hasil *sinter* $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ pada 950 °C 1 jam

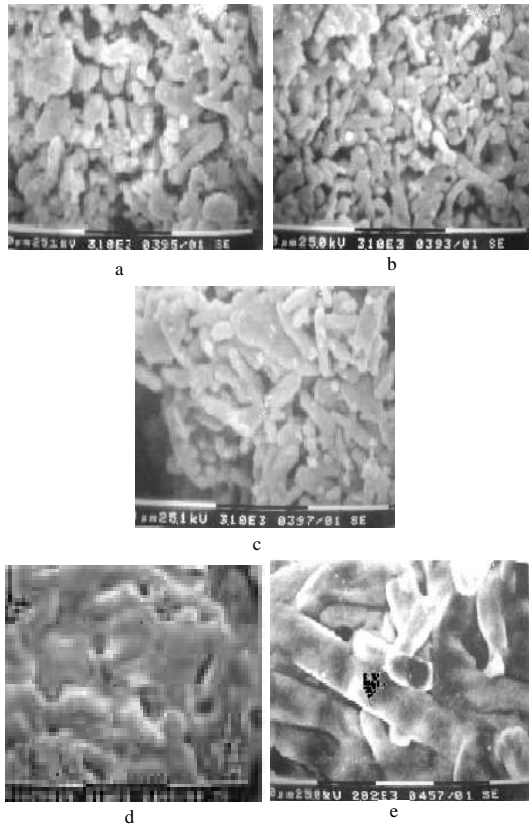
Pada *sinter* selama 5 jam dengan suhu yang divariasi 800 °C hingga 950 °C menunjukkan adanya pertumbuhan butir ke arah bentuk batang yang cukup jelas. Hal ini merupakan salah satu indikasi adanya pertumbuhan fasa superkonduktor $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

Tabel 1. Hasil analisis *EDS* (*Energy Dispersive Spectrume*) yang menunjukkan perbandingan persentase atom Gd : Ba : Cu terhadap sampel dengan variasi suhu dan waktu *sintering*

Waktu	1 jam	5 jam	10 jam	15 jam	20 jam
Suhu					
800 °C	0,75 : 2,00 : 3,87	0,88 : 2,00 : 3,80	0,76 : 2,00 : 2,72	0,92 : 2,00 : 2,81	0,98 : 2,00 : 2,77
850 °C	1,24 : 2,00 : 2,76	0,99 : 2,00 : 3,66	0,74 : 2,00 : 2,62	0,93 : 2,00 : 2,95	1,16 : 2,00 : 3,75
900 °C	0,39 : 2,00 : 1,77	0,85 : 2,00 : 2,60	0,96 : 2,00 : 2,98	0,91 : 2,00 : 2,81	1,09 : 2,00 : 3,93
925 °C	0,39 : 2,00 : 1,77	0,85 : 2,00 : 2,60	0,76 : 2,00 : 1,77	0,98 : 2,00 : 3,86	1,04 : 2,00 : 3,12
950 °C	0,37 : 2,00 : 2,00	0,98 : 2,00 : 2,99	0,96 : 2,00 : 3,00	0,98 : 2,00 : 3,01	1,20 : 2,00 : 4,92

Sedangkan pada suhu tetap 950 °C dengan variasi waktu *sinter* selama 1 jam hingga 20 jam terlihat adanya perbedaan morfologi dari belum terbentuk batang, batang membesar dan akhirnya terjadi difusi lanjut antar batang sehingga kurang tampak lagi morfologi batang.

Hasil analisis *EDS*, seperti diperlihatkan pada Tabel 1, menunjukkan bahwa perbandingan stoikiometri yang mendekati perbandingan jumlah mol atom Gd : Ba : Cu = 1 : 2 : 3 adalah pada kondisi suhu 925 °C 20 jam, 950 °C 5 jam, 950 °C 10 jam, dan 950 °C 15 jam. Hal ini mendukung hasil pengamatan



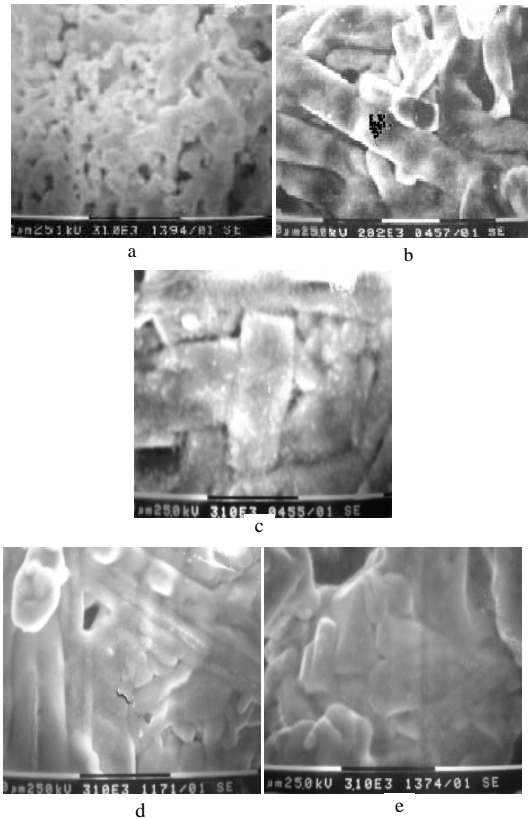
Gambar 5. Pertumbuhan morfologi $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ pada *sinter* selama 5 jam dengan variasi suhu a. 800 °C, b. 850 °C, c. 900 °C, d. 925 °C dan e. 950 °C

morfologi yang diperlihatkan oleh observasi SEM, yaitu adanya butiran berbentuk batang yang mengindikasikan adanya fasa $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada suhu 925 °C dengan waktu *sintering* 20 jam telah dapat dimunculkan fasa $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ meskipun belum sempurna. Demikian pula *sinter* pada suhu 950 °C selama 5 jam dapat muncul fasa $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$, dengan waktu yang bertambah menjadi 10 jam dan 15 jam tampak terjadi pembesaran ukuran butir, hal ini terjadi karena difusi antar partikel. Sedangkan pada *sinter* 950 °C selama 20 jam tampak terjadi pelelehan sehingga butir bentuk batang menjadi kurang nyata lagi.

Pada tahap penelitian selanjutnya akan dilakukan penelitian mengenai pengaruh perbandingan jumlah mol atom Gd, Ba, dan Cu terhadap nilai rapat arus kritis (*critical current density*) dan suhu kritis (*critical temperature*). Penelitian lanjutan tersebut diharapkan dapat memberi masukan yang sangat berarti mengenai kualitas superkonduktor hasil sintesis ditinjau dari sisi kuantitatif.

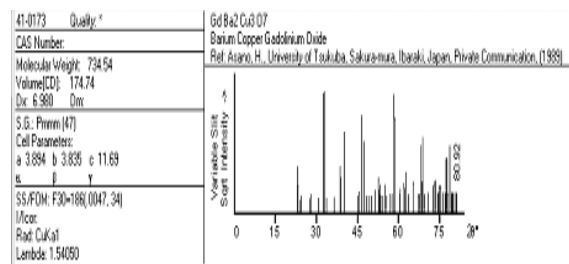
Hasil analisis difraksi sinar-X terhadap sampel dengan variasi waktu dan suhu dibandingkan dengan difraktogram standar JCPDS untuk fasa $GdBa_2Cu_3O_7$. Dari difraktogram standar diketahui bahwa puncak-puncak fasa $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ berada pada 2 : 32,727°, 32,739°, 32,458°, 58,071°, 58,111°, 46,532°, 58,597°, 40,262°, 68,648°, 46,608° dan 47,355°.



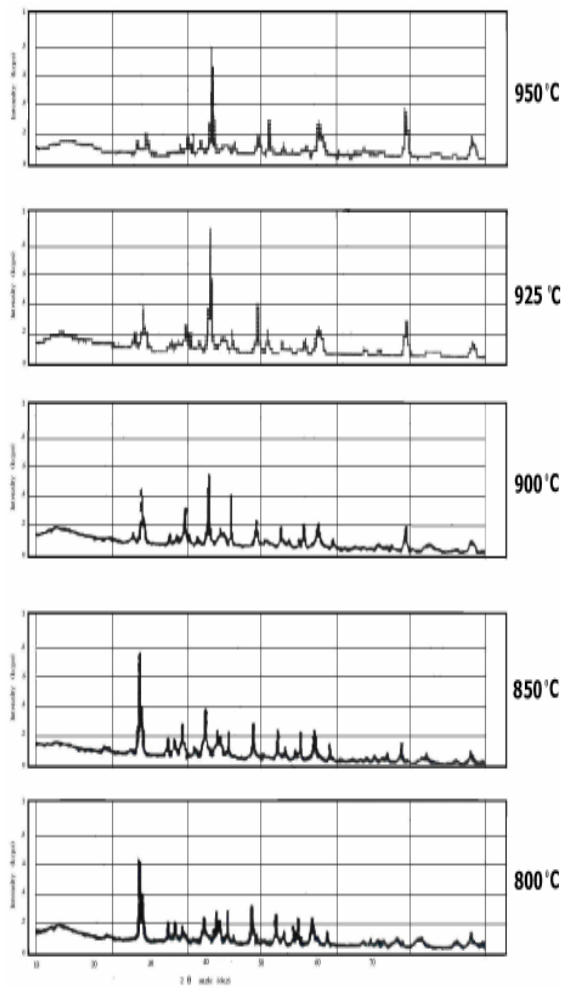
Gambar 6. Pertumbuhan morfologi $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ pada suhu *sinter* 950 °C dengan variasi waktu a. 1 jam, b. 5 jam, c. 10 jam, d. 15 jam dan e. 20 jam

Hasil pengamatan pola difraksi cuplikan $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ yang divariasi berdasarkan variasi suhu dan waktu *sinter* menunjukkan bahwa ada relasi yang signifikan antara suhu dan waktu terhadap pola difraksinya. Terlihat bahwa fasa $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ mengalami pertumbuhan yang jelas dengan disertai adanya penurunan fasa kontaminan, yaitu dengan diperlihatkan adanya penurunan intensitas puncak kontaminan, selain puncak dari $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$.

Gambar 6 memperlihatkan bahwa pada *sinter* selama 1 jam dengan suhu *sinter* 800 °C hingga 900 °C masih terdapat fasa pengotor (selain fasa $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$). Tampak bahwa dengan kenaikan suhu menyebabkan puncak $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ semakin nyata, sedangkan puncak-puncak Gd_2O_3 , $BaCO_3$, dan CuO semakin mengecil dan sangat kecil mulai suhu 925 °C. Hal ini menunjukkan bahwa fasa $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ mulai terbentuk pada suhu 925 °C. Sedangkan pada suhu di



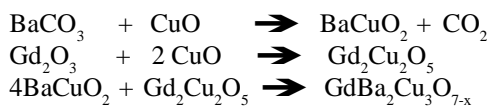
Gambar 7. Difraktogram standar $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ dari JCPDS



Gambar 8. Difraktogram sampel $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ dengan waktu *sinter* tetap 1 jam dan variasi suhu *sinter* 800 °C hingga 950 °C.

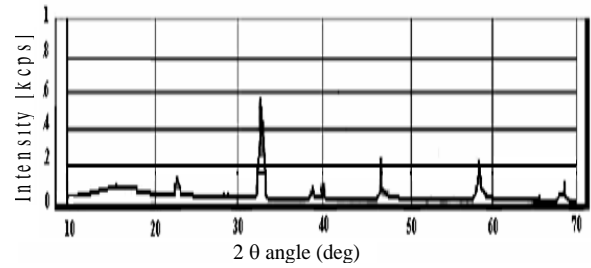
bawah 925 °C komponen pembentuk $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ belum dapat berubah membentuk fasa $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$.

Reaksi pembentukan fasa $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ adalah sebagai berikut :

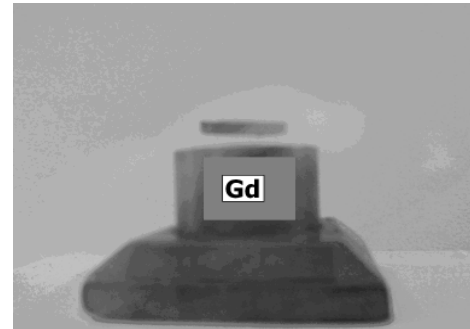


Dari reaksi di atas diketahui bahwa apabila reaksi pembentukan $GdBa$ tidak sempurna maka terdapat fasa-fasa lain sebagai *impurity* (pengotor). Dengan membandingkan *JCPDF* dapat diketahui bahwa pengotor tersebut adalah Gd_2BaO_4 ($2\theta = 29.365^\circ, 30.484^\circ, 60.820^\circ, 30.590^\circ, 29.106^\circ$), Gd_2O_3 ($2\theta = 32.472^\circ, 31.680^\circ, 30.115^\circ, 47.470^\circ, 29.425^\circ$), Gd_2Cu_4 ($2\theta = 32.290^\circ, 57.864^\circ, 32.531^\circ, 57.864^\circ, 44.924^\circ, 77.469^\circ$), $BaCuO_2$ ($2\theta = 31.274^\circ, 28.894^\circ, 54.244^\circ, 23.855^\circ, 44.870^\circ$). Sedangkan puncak $GdBaCuO$ dan Gd tidak teridentifikasi.

Dengan membandingkan difraktogram *standar JCPDF* $GdBa_2Cu_3O_7$ dan hasil penelitian diketahui bahwa difraktogram yang paling mendekati dengan kondisi standar adalah cuplikan dengan perlakuan *sinter* 950 °C selama 5 jam, seperti diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Difraktogram sampel $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ pada *sinter* 950 °C selama 5 jam.



Gambar 10. Efek levitasi pada bahan superkonduktor.

Uji efek *Meissner* dilakukan dengan cara mencelupkan cuplikan ke dalam nitrogen cair selama beberapa saat untuk mengkondisikan sampel di bawah suhu kritis kemudian sampel diletakkan di atas magnet permanen dari *Cobalt*. Bahan yang merupakan superkonduktor akan memberikan efek levitasi (mengambang) di atas magnet permanen. Hal ini menunjukkan adanya perlawanan medan magnet, garis gaya magnet tidak dapat menembus bahan superkonduktor. Hasil uji ini diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis uji efek *meissner*

DATA HASIL UJI GEJALA MEISSNER					
Waktu / Suhu	1 jam	5 jam	10 jam	15 jam	20 jam
800 °C	TIDAK	TIDAK	TIDAK	TIDAK	TIDAK
850 °C	TIDAK	TIDAK	TIDAK	TIDAK	TIDAK
900 °C	TIDAK	TIDAK	TIDAK	TIDAK	TIDAK
925 °C	TIDAK	TIDAK	YA	YA	YA
950 °C	TIDAK	YA	YA	YA	YA

Dari Tabel 2 di atas diketahui bahwa sampel dengan kondisi *sintering* 925 °C 10 jam, 15 jam dan 20 jam namun dari pengamatan efek *Meissner* yang diberikan sangat kecil (terjadi sedikit levitasi), hal ini kemungkinan terjadi karena reaksi pembentukan fasa superkonduktor $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ belum sempurna. Sedangkan pada kondisi *sinter* 950 °C selama 5 jam, 10 jam, 15 jam dan 20 jam memberikan efek *Meissner* yang cukup besar. Hal ini menunjukkan pada kondisi tersebut terbentuk fasa superkonduktor.

KESIMPULAN

Dengan reaksi garam-garam nitrat dari Gd, Ba, Cu dan media pelarut garam cair urea dapat ditumbuhkan fasa $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$. Fasa $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ mulai terbentuk pada kondisi sinter 925 °C selama 20 jam. Kenaikan suhu dan lamanya waktu *sinter* tidak berbanding lurus dengan kesempurnaan penumbuhan fasa. Kondisi penumbuhan fasa $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ optimum pada suhu *sintering* 950 °C selama 5 jam.

DAFTARACUAN

- [1]. D.B. CURRIE and A.M. FOREST, *Solid State Communications*, **66** (7) (1988) 715-718
- [2]. YUSTINUS P dkk, Pembuatan Komposit YBCO-123/Ag Melalui Pelarut Garam Cair Urea, *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar dan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir*, Yogyakarta, (1996)
- [3]. C.Y. HUANG and SAPHIRA, *Modern Physics Letter*, B (576) (1987)
- [4]. TAUFIK USMAN, MARADU SIBARANI, TATA TERBIT, *Pengaruh Waktu Sinter Terhadap Densitas Pellet UO_2 dari Berbagai Ukuran Serbuk*, Bidang Bahan Bakar Reaktor Daya PTBN-BATAN
- [5]. RANDAL M.G., *Powder Metallurgy Science*, Printed in Princeton, New Jersey (1984)
- [6]. KINGERY W.D., *Introduction to Ceramics*, John Wiley & Sons, Inc., (1976)
- [7]. LENEL F, V. *Introduction Powder Metallurgy*, Metal Powder Industry Federation, Princeton, New Jersey, (1980)