

## Analisis Kekonduksian Lebihan Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ Ditambah Nanoparah PbO (Excess Conductivity Analysis of PbO Nanoparticle Added $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ Superconductor)

ANNAS AL-SHARABI, SARAH YASMIN TAJUDDIN, AU DIYA FATIHAH WAN SAFFIEY, SYAZANA JASMAN,  
H.A. ALWI, M.H. JUMALI & R. ABD-SHUKOR\*

### ABSTRAK

Kesan penambahan PbO dengan saiz 10 hingga 30 nm terhadap kekonduksian lebihan  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  telah dikaji. Kekonduksian lebihan ialah fluktuasi kekonduksian elektrik disebabkan oleh interaksi pasangan Cooper dengan elektron biasa berhampiran suhu genting,  $T_c$ . Sampel dengan komposisi permulaan  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}(PbO)_x$  untuk  $x = 0.00- 0.45$  peratus berat (% bt.) telah disediakan melalui tindak balas keadaan pepejal. Analisis fluktuasi dan kekonduksian lebihan menggunakan teori Aslamazov-Larkin (AL) untuk menentukan dimensi kekonduksian  $\lambda$  telah dijalankan. Teori Lawrence-Donaich (LD) pula digunakan untuk menentukan panjang koheren  $\xi_c(0)$ , gandingan Josephson  $J$  dan anisotropi  $\gamma = (\xi_{ab}(0)/\xi_c(0))$ . Suhu genting mula adalah tertinggi ( $T_{c\text{ mula}} = 94$  K) untuk sampel  $x = 0.35$ . Analisis kekonduksian menunjukkan PbO menyebabkan peralihan kekonduksian daripada 2 dimensi ke 3 dimensi dengan suhu peralihan,  $T_{2D-3D}$  tertinggi bagi sampel  $x = 0.20$  (120 K). Model Lawrence-Donaich menunjukkan panjang koheren  $\xi_c(0)$  adalah terpanjang dan anisotropi terendah bagi sampel  $x = 0.25$ . Sampel ini juga menunjukkan gandingan Josephson tertinggi,  $J = 0.296$ . Dua kesan yang mungkin berlaku akibat penambahan PbO ialah pembentukan bahan bukan superkonduktor dalam sampel dan peningkatan hubungan antara butiran yang meningkatkan sifat-sifat kesuperkonduksian.

**Kata kunci:** Gandingan Josephson; kekonduksian lebihan; panjang koheren

### ABSTRACT

The effects of nano-sized PbO (10-30 nm) addition on the excess conductivity of  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  have been studied. Excess conductivity is the fluctuations in conductivity due to the interaction of normal electrons with the Cooper pairs near the critical temperature,  $T_c$ . Samples with starting composition  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}(PbO)_x$  for  $x = 0.00- 0.45$  weight percent (wt. %) were prepared using the solid state reaction method. Superconducting fluctuations and excess conductivity were analyzed using the Aslamazov-Larkin (AL) theory to determine the conductivity dimensions  $\lambda$ . The Lawrence-Donaich (LD) theory was used to determine the coherence length  $\xi_c(0)$ , Josephson coupling  $J$ , and the anisotropy  $\gamma = (\xi_{ab}(0)/\xi_c(0))$ . The onset transition temperature,  $T_{c\text{ onset}}$  was highest ( $T_{c\text{ onset}} = 94$  K) for the sample with  $x = 0.35$ . Conductivity analysis showed that nano-sized PbO induced transition from 2 dimensional to 3 dimensional conductivity with the highest transition temperature  $T_{2D-3D}$  in the  $x = 0.20$  sample. The Lawrence-Donaich model showed the longest coherence length  $\xi_c(0)$  and lowest anisotropy for the  $x = 0.25$  sample. This sample also showed the highest Josephson coupling,  $J = 0.296$ . The two possible effects of nanosized PbO addition in  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  is the formation of non-superconducting regions and the improved inter-grains connectivity enhanced the superconducting properties.

**Keywords:** Coherence length; excess conductivity; Josephson coupling

### PENGENALAN

Kekonduksian lebihan ialah peningkatan kekonduksian elektrik berhampiran suhu genting,  $T_c$  dan boleh didefinisikan sebagai penyimpangan kekonduksian keadaan biasa dari garis linear pada suhu yang lebih tinggi daripada  $T_c$ . Fluktuasi kekonduksian elektrik dalam superkonduktor suhu tinggi menunjukkan bahawa pasangan Cooper terbentuk pada suhu melebihi  $T_c$  (Han et al. 2004; Khurram et al. 2009). Dalam pengukuran kekonduksian elektrik, apabila suhu sampel diturunkan daripada suhu bilik ke suhu genting, pasangan Cooper mula terbentuk pada suhu sekitar  $2T_c$ . Apabila suhu diturunkan menghampiri  $T_c$  bilangan pasangan Cooper

bertambah dengan lebih cepat. Hasilnya rintangan sampel berkurang disebabkan fluktuasi kekonduksian yang berlebihan (Aswal et al. 2002). Fluktuasi dalam kekonduksian membolehkan dimensi kesuperkonduksian dan panjang koheren berhampiran suhu genting diukur (Islam & Paramanik 1997).

Fluktuasi kekonduksian dalam superkonduktor boleh dianalisis untuk mengkaji mekanisme bagi meningkatkan  $T_c$  dan mengoptimumkan cas pembawa dalam satah  $CuO_2$ . Penyumbang utama fluktuasi kekonduksian superkonduktor adalah pembentukan pasangan Cooper dan interaksi pasangan Cooper dengan elektron biasa (Mohammed 2013). Dua teori yang menerangkan

fluktuasi kekonduksian adalah teori Aslamazov-Larkin (AL) (Aslamazov & Larkin 1968a, 1968b) dan Lawrence-Doniach (LD) (Hikami & Larkin 1988; Lawrence & Doniach 1971; Thompson 1970). Kekonduksian lebih,  $\Delta\sigma$  boleh didapati dengan mendapatkan perbezaan antara kekonduksian latar belakang keadaan biasa dengan kekonduksian yang diukur (Sharma et al. 1995) melalui persamaan  $\Delta\sigma = 1/\rho_{\text{uji kaji}} - 1/\rho_{\text{latar}}$  dengan  $\rho$  adalah kerintangan. Menurut teori Aslamazov-Larkin, kekonduksian berlebihan  $\Delta\sigma/\sigma_0$  keadaan biasa dikira (Sato et al. 2001) menggunakan pendekatan mikroskopik medan min (MFR) melalui persamaan  $\Delta\sigma/\sigma_0 = A \varepsilon^{-\lambda}$  dengan  $\sigma_0$  adalah kekonduksian pada 300 K.  $\varepsilon$  adalah suhu terturun dan ditulis sebagai  $\varepsilon = \ln(T/T_c^p)/T_c^p = (T - T_c^p)/T_c^p$  dengan  $T_c^p$  adalah suhu puncak yang diperoleh daripada  $dr/dT$ .  $A$  adalah pemalar suhu AL dan  $\lambda$  adalah eksponen genting yang berkaitan dengan dimensi angkutan  $D$ , dengan  $\lambda = 2 - D/2$ . Bagi kekonduksian 1 dimensi (1D),  $\lambda = 1.5$ , bagi kekonduksian 2 dimensi (2D),  $\lambda = 1.0$ , dan untuk 3D,  $\lambda = 0.5$ .  $\lambda$  boleh diperoleh dari cerun graf  $\ln(\Delta\sigma/\sigma_0)$  melawan  $\ln(\varepsilon)$ . Penggantian unsur juga menyumbang kepada perubahan dalam  $T_{2D-3D}$  dan panjang koheren (Al-Sharabi & Abd-Shukor 2014a; 2014b).

Pada suhu peralihan,  $T_{2D-3D}$ , panjang koheren paksi- $c$ ,  $\xi_c(0)$  bagi sampel polihablur boleh diperoleh dengan menggunakan model Lawrence-Doniach (Yusuf et al. 2011),  $T_{2D-3D} = T_c [1 + (2 \xi_c(0)/d)^2]$  dengan  $d$  ialah jarak antara lapisan dalam unit sel superkonduktor. Menggunakan model Lawrence-Doniach, interaksi antara lapisan superkonduktor  $J$  diberikan oleh persamaan (Yusuf et al. 2011)  $J = [2 \xi_c(0)]^2/d^2$ . Bagi sistem superkonduktor berlapis, anisotropi  $\gamma$  ditulis sebagai  $\gamma = \xi_{ab}(0)/\xi_c(0)$  dengan  $\xi_{ab}(0)$  ialah panjang koheren- $ab$  iaitu antara 10 dan 20 Å untuk superkonduktor berasaskan kuprum oksida (Yusuf et al. 2011).

Berhampiran  $T_c$ , wujud kawasan genting, dengan eksponen diwakili oleh  $\lambda_{cr}$  yang bersamaan dengan -0.33 (Vidal et al. 1988). Peralihan dari kawasan genting kepada kekonduksian 3 dimensi berlaku pada suhu kritikal yang dinamakan suhu Ginzburg,  $T_G$ . Daripada peralihan ini, parameter fizikal yang penting boleh dikira menggunakan teori Ginzburg-Landau (GL) (Han & Rapp 1995). Medan magnet genting termodinamik  $B_c(0)$  boleh didapati menggunakan nombor Ginzburg  $N_G$  melalui persamaan (Aly et al. 2010; Sarmiento et al. 2007)  $N_G = (T_G - T_c)/T_c$ .

Terdapat beberapa laporan mengenai peningkatan sifat superkonduktor dengan pengedapan zarah bersaiz nano dan mikro seperti NiO,  $Y_2O_3$ ,  $SnO_2$ ,  $TiO_2$  dan  $FeF_2$  (Abd-Shukor et al. 2012; Campbell et al. 2005; Hamid & Abd-Shukor 2000; He et al. 2001; Zhao et al. 2005) dalam superkonduktor suhu tinggi berasaskan kuprum oksida. Nanozarah boleh bertindak balas dengan bahan superkonduktor semasa proses penyediaan. Zarah asing boleh menyekat pembentukan fasa superkonduktor dan mengubah struktur hablur serta mengakibatkan kecacatan dan ketakhomogenan. Kajian kekonduksian lebih telah dilaporkan dalam bahan  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  (YBCO) yang didop

dengan Ti dan  $BaSnO_3$  yang menunjukkan kekonduksian 2 dimensi dan 3 dimensi pada suhu melebihi suhu genting (Sahoo & Behera 2014; Sahoo et al. 2014).

Penambahan PbO telah membantu dalam pembentukan fasa suhu tinggi superkonduktor seperti superkonduktor yang berasaskan Tl (Abd-Shukor & Tee 1998). Beberapa kaedah mensintesis PbO bersaiz nano dan sifatnya telah dilaporkan (Ramin Yousefi et al. 2015). Makalah ini melaporkan kesan PbO (saiz 10-30 nm) terhadap sifat superkonduktor  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ . Teori Aslamazov-Larkin telah diguna untuk menentukan dimensi fluktuasi kekonduksian,  $\lambda$ . Di samping itu, parameter superkonduktor seperti suhu genting mula,  $T_{c\text{mula}}$ , suhu genting sifar,  $T_{c\text{sifar}}$ , panjang koheren paksi- $c$   $\xi_c(0)$ , gandingan antara lapisan  $J$  dan anisotropi,  $\gamma$  dikira menggunakan teori Lawrence-Doniach.

## BAHAN DAN KAEDAH

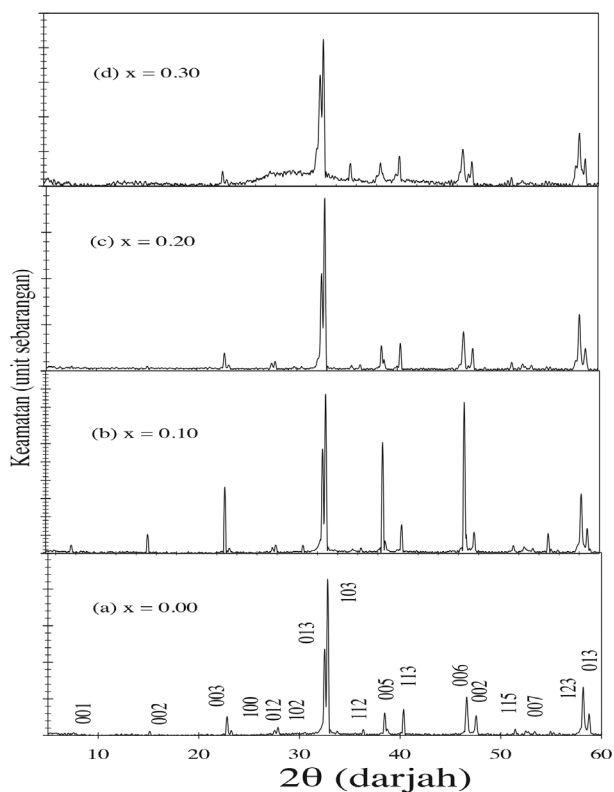
Sampel telah disediakan melalui kaedah tindak balas keadaan pepejal. Bahan oksida dan karbonat berketulinan tinggi (99.9%) iaitu  $Y_2O_3$ , BaO, CuO dan PbO bersaiz nano (10-30 nm dari Nanoshel, 99.9 +%) dicampurkan dengan komposisi permulaan  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}(PbO)_x$  ( $x = 0, 0.03, 0.05, 0.10, 0.20, 0.25, 0.30$  dan 0.45 % bt. Bahan yang telah dikisar dengan homogen ini disepuhlandap pada 900°C selama 48 jam. Serbuk yang terhasil ditekan menjadi pelet dan disinter dalam udara pada 900°C selama 24 jam. Diameter pelet adalah 13 mm dan tebal 2.5 mm.

Rintangan elektrik diukur menggunakan kaedah penduga empat titik. Cat perak digunakan sebagai sentuhan elektrik. Penyejuk kitar tertutup CTI Cryogenics Model 22 dan pengawal suhu dari Lake Shore Model 340 telah digunakan untuk pengukuran pada suhu rendah.

Kaedah pembelauan sinar-X telah diguna untuk menentukan fasa yang dihasilkan. Pembelau sinar-X model Bruker diffractometer D8 Advance dengan sumber  $CuK_\alpha$  telah digunakan. Parameter kekisi telah dikira dengan menggunakan sekurang-kurangnya 15 puncak pembelauan. Mikrostruktur telah dikaji menggunakan mikroskop elektron imbasan Philips XL 30.

## KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Corak pembelauan sinar-X sampel  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}(PbO)_x$  menunjukkan fasa tunggal  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  dengan struktur otorombik dan kumpulan ruang Pmmm. Rajah 1 menunjukkan corak pembelauan sinar-X untuk sampel  $x=0, 0.1, 0.2$  dan 0.3. Tiada puncak PbO atau sebatian berasaskan Pb ditunjukkan dalam corak pembelauan sinar-X. Parameter kekisi untuk  $x=0$  adalah  $a = 3.819 \text{ \AA}$ ,  $b = 3.890 \text{ \AA}$  dan  $c = 11.67 \text{ \AA}$ , sama dengan kajian lepas (Abd-Shukor et al. 2012). Tiada perubahan ketara parameter kekisi  $a$  dan  $b$  untuk sampel lain. Sebagai contoh parameter kekisi untuk sampel  $x=0.1$  ialah  $a = 3.825 \text{ \AA}$ ,  $b = 3.891 \text{ \AA}$  dan  $c = 11.68$ . Meskipun begitu parameter kekisi  $c$  menurun dengan penurunan PbO iaitu  $c = 11.67 \text{ \AA}$  untuk  $x=0$ , dan



RAJAH 1. Corak pembelauan sinar-X untuk sampel  $\text{YBa}_2\text{CuO}_{7-x}(\text{PbO})_x$  untuk  $x =$  (a) 0, (b) 0.1, (c) 0.2 dan (c) 0.30

$c = 11.73 \text{ \AA}$  untuk  $x = 0.45$ . Tidak ada perubahan ketara dalam mikrostruktur dan saiz butiran apabila PbO ditambah ke dalam sampel YBCO seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2(a) untuk sampel  $x = 0$  dan 2(b) untuk  $x = 0.25$ .

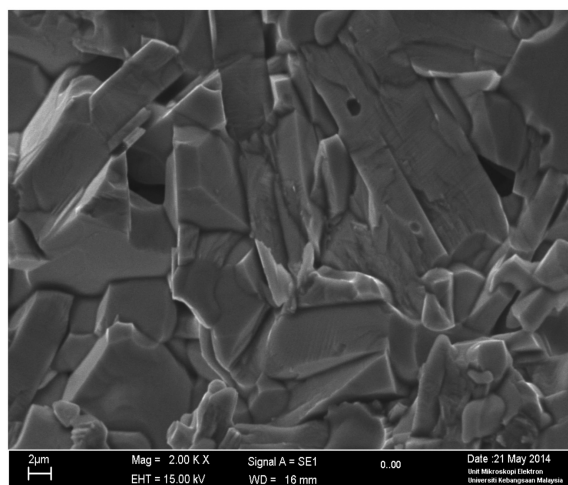
Lengkung rintangan melawan suhu ditunjukkan dalam Rajah 3. Semua sampel menunjukkan sifat logam pada keadaan biasa (iaitu,  $d\rho/dt > 0$ ). Semua sampel juga

menunjukkan suhu genting yang menandakan kewujudan fasa sperkondutor pada suhu rendah. Sampel  $x = 0.35$  menunjukkan  $T_{c \text{ mula}}$  yang paling tinggi iaitu 94 K. Suhu genting rintangan sifar ( $T_{c \text{ sifar}}$ ), adalah paling rendah untuk sampel  $x = 0.45$  iaitu 84 K. Kerintangan elektrik pada suhu bilik (Jadual 1) meningkat dengan kandungan PbO. Sampel dengan  $x = 0.45$  menunjukkan kerintangan suhu bilik tertinggi iaitu 10.84 m $\Omega$ cm. Nilai  $T_{c \text{ mula}}$ ,  $T_{c \text{ sifar}}$  dan kerintangan pada suhu bilik ditunjukkan dalam Jadual 1.

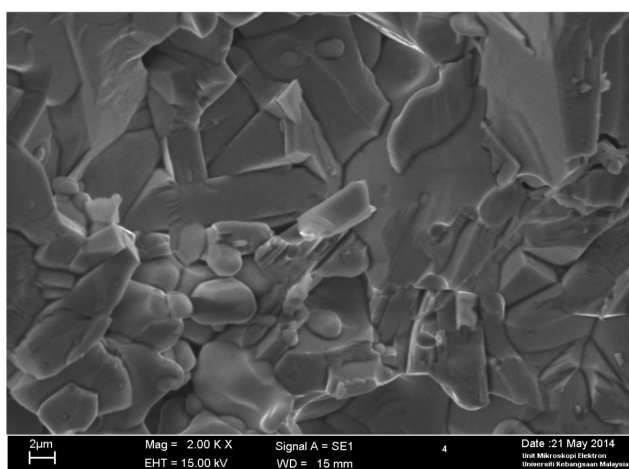
Kerintangan elektrik keadaan biasa telah disuaikan dengan persamaan  $\rho = \alpha + \beta T$  untuk  $x = 0 - 0.45$  (Rajah 3), dengan  $\alpha$  adalah pintasan dan  $\beta$  adalah cerun data kerintangan. Nilai parameter seperti kerintangan suhu bilik ( $\rho_{297}$ ),  $T_c^p$ ,  $\alpha$  dan  $\beta$  disenaraikan dalam Jadual 1 untuk semua sampel. Sisihan dari garis linear kerintangan meningkat apabila suhu diturunkan. Kekonduksian yang berlebihan menunjukkan bermulanya pembentukan pasangan elektron iaitu pasangan Cooper. Sisipan dalam Rajah 3 menunjukkan lengkung terbitan kerintangan melawan suhu; suhu puncak ( $T_p$ ) telah digunakan untuk mengira suhu terkurang ( $\epsilon$ ). Semua sampel menunjukkan puncak tunggal pada  $T_c$  yang menandakan peralihan superkondutor dalam butiran.

Sisihan kerintangan,  $\rho(T)$  daripada latar belakang linear menunjukkan kekonduksian berlebihan ( $\Delta\sigma$ ). Untuk membandingkan data uji kaji dengan ungkapan teori fluktuasi kekonduksian, graf  $\ln(\Delta\sigma/\sigma_0)$  melawan  $\ln(\epsilon)$  telah diplotkan (Rajah 4). Rajah ini menunjukkan fluktuasi kekonduksian untuk semua sampel yang meliputi kawasan medan min:  $-7 < \ln(\epsilon) < 1$ . Nilai  $T_c$ ,  $T_c^p$ ,  $T_G$ , eksponen dimensi  $\lambda_D$  dan suhu peralihan ( $T_G$ ,  $T_{3D-2D}$ ,  $T_{2D-1D}$ ) antara kawasan fluktuasi yang berbeza dari plot log kekonduksian lebihan melawan suhu terkurang ditunjukkan dalam Jadual 1.

Empat kawasan yang berbeza muncul dengan jelas dalam setiap plot. Kawasan-kawasan linear yang berbeza disuaikan dan eksponen kekonduksian  $\lambda_D$  ditentukan



(a)  $x = 0$



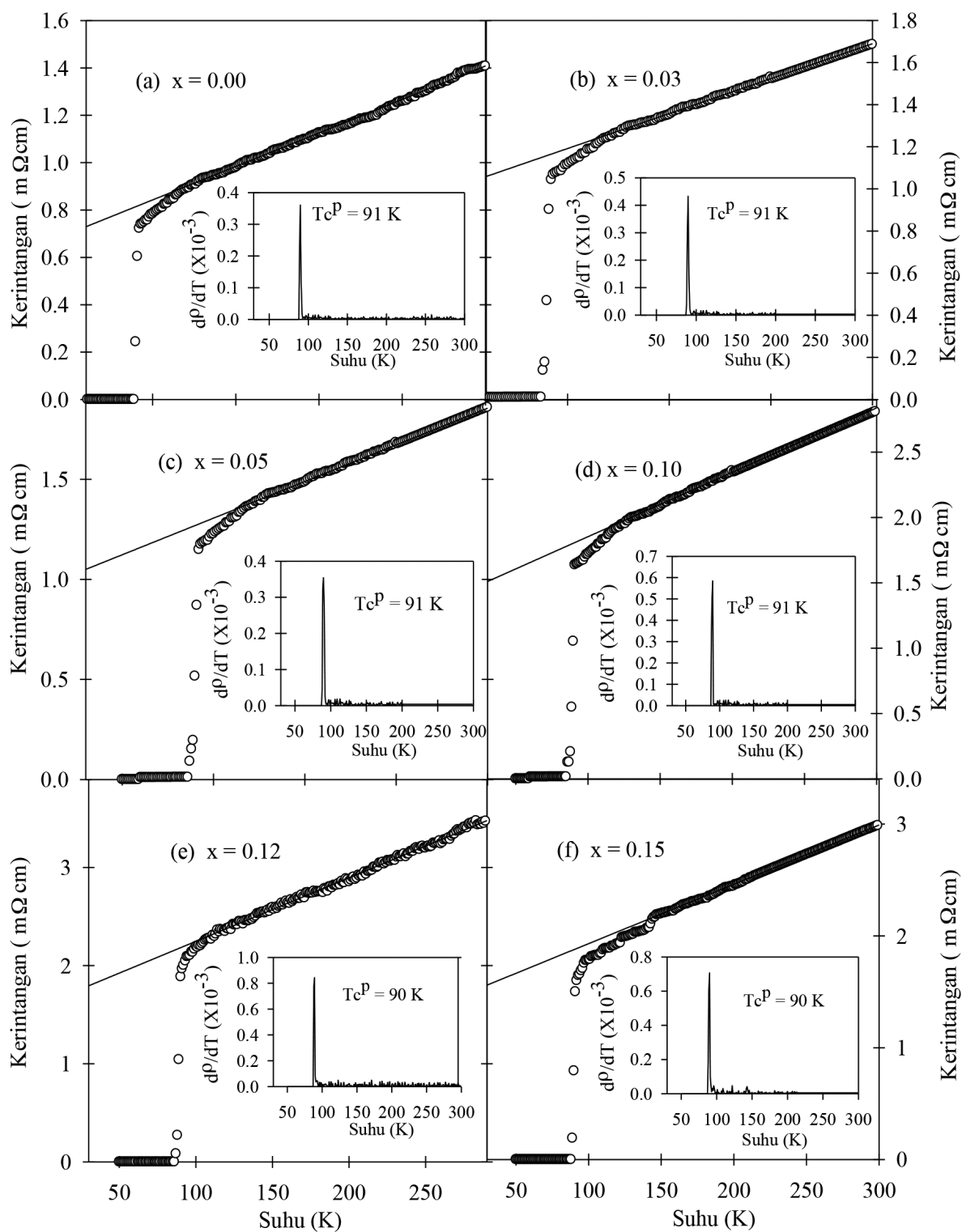
(b)  $x = 0.25$

RAJAH 2. Mikrograf SEM sampel  $\text{YBa}_2\text{CuO}_{7-x}(\text{PbO})_x$  untuk  $x =$  (a) 0 dan (b) 0.25

JADUAL 1.  $T_c$ ,  $T_{c\text{muita}}$ ,  $T_{c\text{sifar}}$ , parameter kekisi,  $T_c^p$ , kerintangan pada suhu bilik ( $\rho_{297}$ ),  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $T_G$ ,  $T_{3D-2D}$ ,  $T_{2D-ID}$ ,  $\lambda_{1D}$ ,  $\lambda_{2D}$ ,  $\lambda_{3D}$ ,  $\lambda_{cr}$ ,  $\xi_c(0)$ ,  $J$ ,  $\gamma$  dan  $N_G$  untuk sampel  $YBa_2CuO_{7-\delta}$  ( $PbO$ ) $_x$  ( $x = 0.00 - 0.45$ )

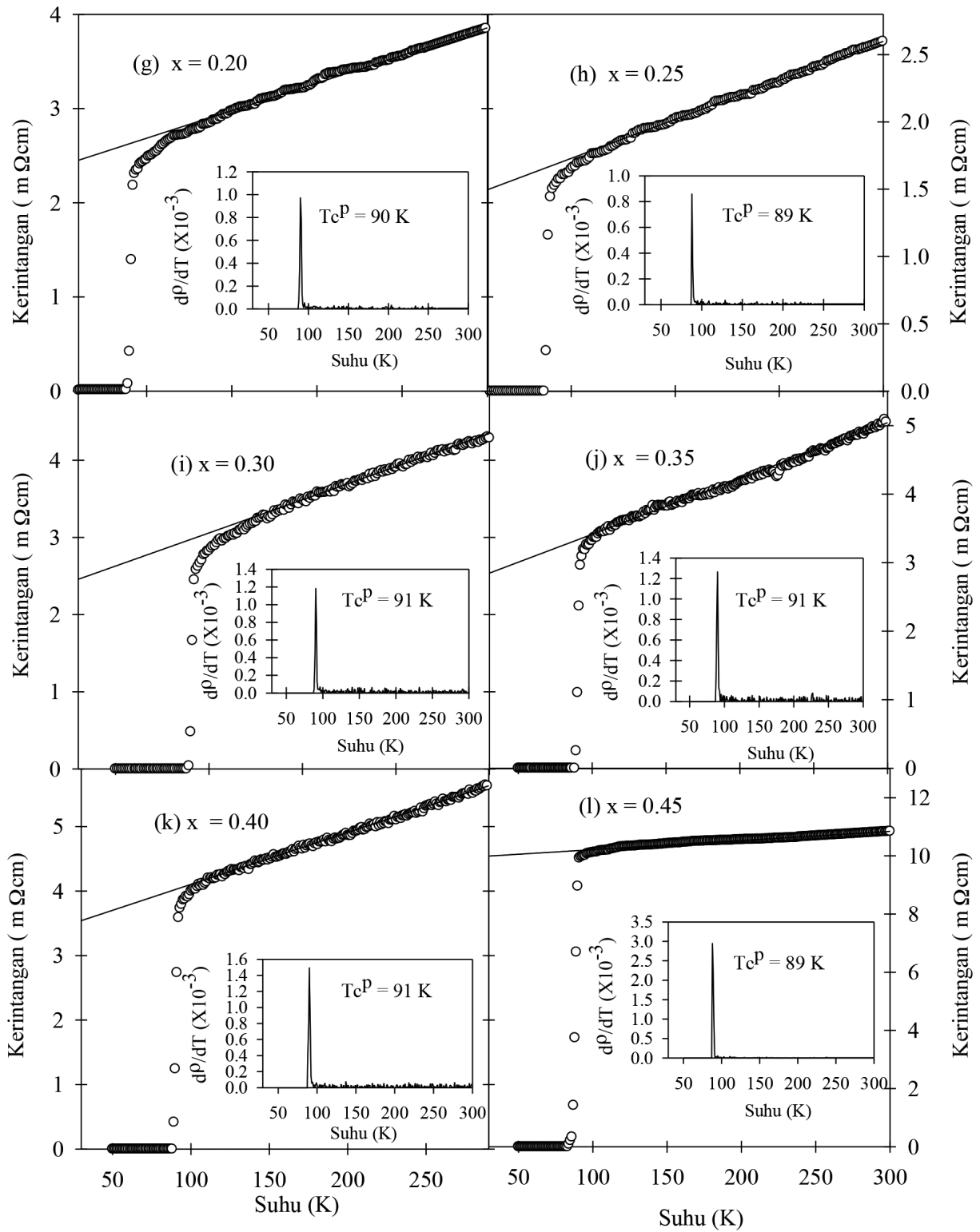
	0	0.03	0.05	0.1	0.12	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
$T_{c\text{sifar}}$ (K)	88	86	86	85	86	88	88	87	88	88	88	84
$T_{c\text{muita}}$ (K)	92	92	92	91	91	92	93	91	92	94	93	91
$\rho_{297}$ (m $\Omega$ cm)	1.41	1.86	2.04	2.84	3.54	2.99	3.86	2.88	4.77	5.04	5.71	10.84
$T_c^p$ (K)	91	91	91	90	90	90	90	89	91	91	91	89
$\alpha = \rho_n(0K)$ (m $\Omega$ cm)	0.56	0.86	0.94	1.36	1.60	1.40	2.10	1.15	2.20	2.60	3.30	9.90
$\beta = dp/dT \times 10^{-3}$ (m $\Omega$ cm)/K	2.83	3.32	3.66	4.93	6.47	5.31	5.85	5.79	8.58	8.14	8.04	3.14
$T_G$ (K)	97	98	98	97	97	99	100	99	96	97	96	95
$T_{3D-2D}$ (K)	109	111	112	112	113	117	120	118	115	115	113	111
$T_{2D-ID}$ (K)	139	140	141	143	144	146	149	146	140	146	142	140
$\lambda_{cr}$	0.288	0.278	0.259	0.266	0.314	0.287	0.356	0.303	0.355	0.322	0.363	0.315
$\lambda_{3D}$	0.485	0.502	0.497	0.510	0.520	0.524	0.523	0.528	0.487	0.476	0.525	0.519
$\lambda_{2D}$	1.082	0.969	1.051	1.009	1.064	1.071	1.066	0.990	1.040	1.010	1.055	1.027
$\lambda_{1D}$	1.409	1.393	1.379	1.409	1.448	1.707	1.558	1.789	1.593	1.52	1.662	1.549
$\xi_c(0)$ (Å)	0.659	0.722	0.741	0.763	0.781	0.845	0.856	0.866	0.795	0.751	0.737	0.745
$J$	0.172	0.206	0.217	0.230	0.241	0.282	0.290	0.296	0.250	0.223	0.215	0.219
$\gamma$	15.16	13.83	13.48	13.09	12.79	11.83	11.67	11.54	12.57	13.30	13.56	13.41
$N_G$	4.30	6.52	6.52	6.59	6.59	7.61	7.52	8.79	4.34	3.19	3.22	4.39

RAJAH 3 (a) - (f)



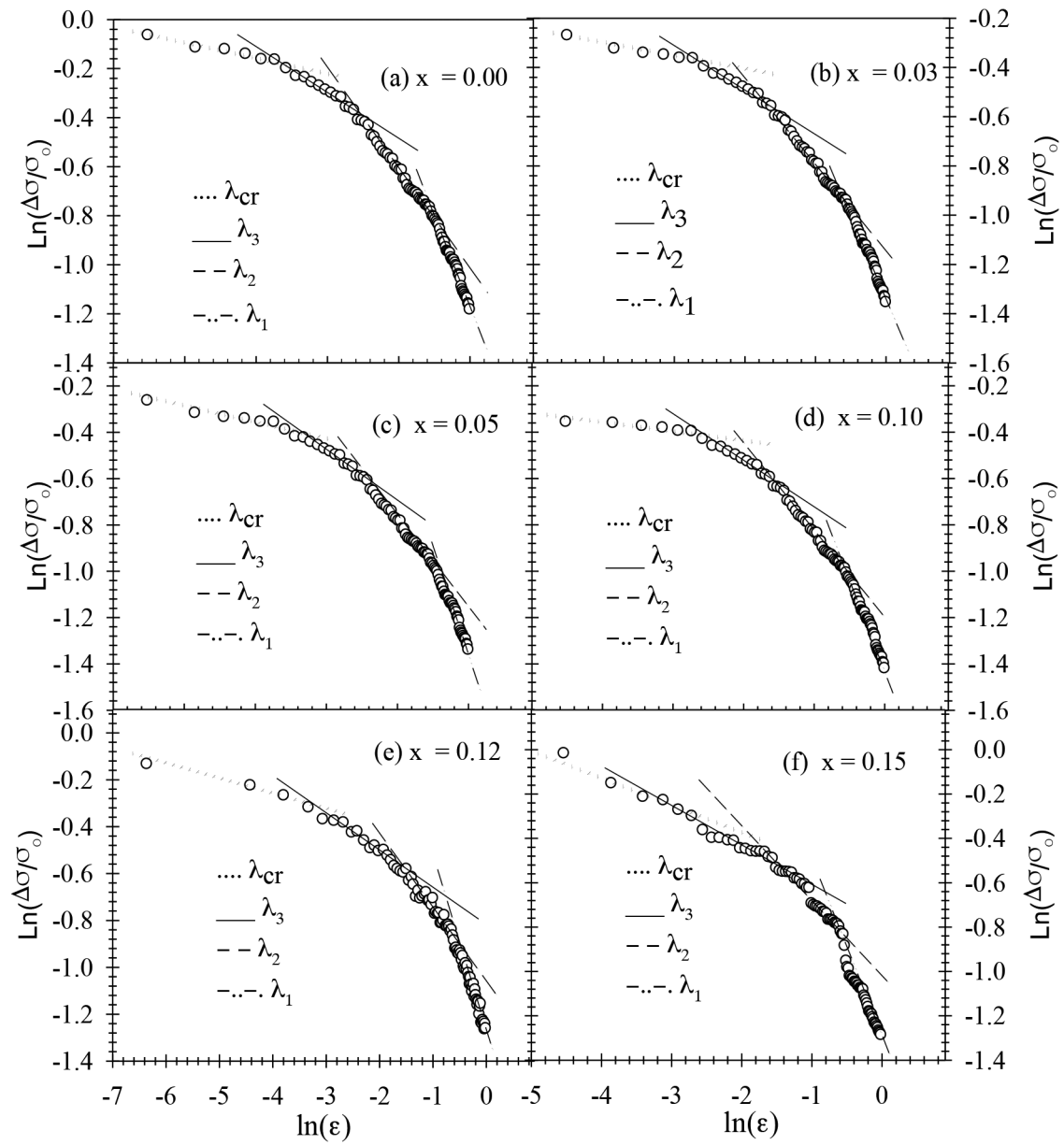
bersambung

Sambungan RAJAH 3 (g) - (l)

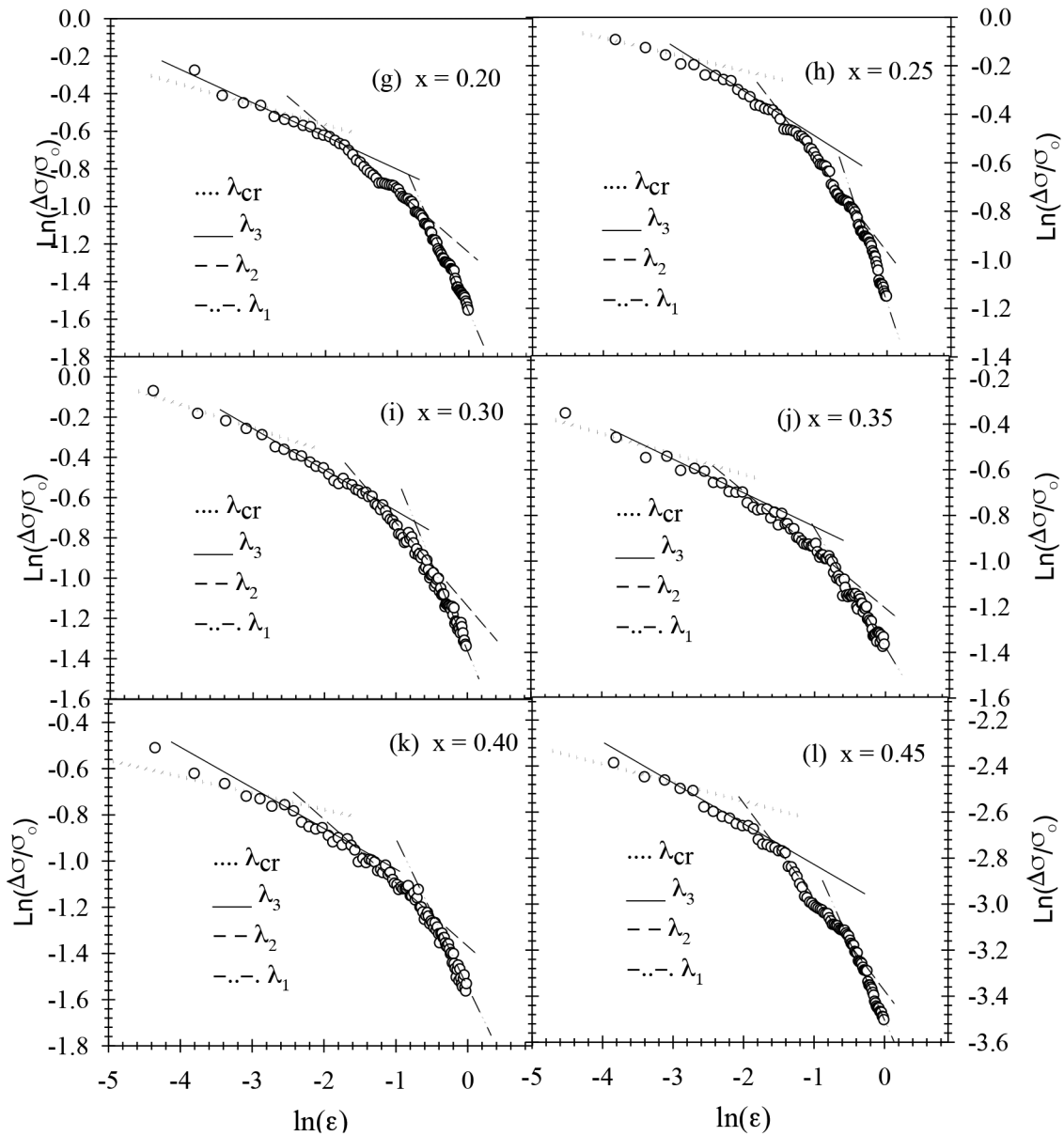


RAJAH 3. Rintangan elektrik melawan suhu sampel  $\text{YBa}_2\text{CuO}_{7-x}(\text{PbO})_x$ . Sisipan menunjukkan plot  $d\rho/dT$  melawan suhu. Garis linear menunjukkan latar belakang unjuran rintangan elektrik keadaan biasa

Sambungan RAJAH 4 (a) - (f)



bersambung



RAJAH 4. Graf  $\ln(\Delta\sigma/\sigma_0)$  melawan  $\ln(\epsilon)$  bagi  $\text{YBa}_2\text{CuO}_{7-\delta}(\text{PbO})_x$ . Garis tebal mewakili lengkung teori 2-D dan garis putus-putus mewakili lengkung teori tiga dimensi

daripada cerunnya. Suhu peralihan ditentukan melalui pemisahan dari bahagian linear. Di kawasan pertama, graf menunjukkan penurunan dalam  $\lambda_{cr}$  (0.33), yang mewakili kawasan fluktuasi yang dinamik (Hohenberg & Halperin 1977). Pada kawasan genting yang dinamik di bawah  $T_G$ , fluktuasi dalam parameter tertiban mempunyai magnitud yang sama dengan nilai tertiban parameter Lobb (1987) dan teori GL menjadi tidak relevan. Peralihan ke kawasan kedua berlaku apabila suhu diturunkan lebih dekat dengan  $T_c$  dan eksponen kekonduksian berubah daripada -0.50 dan kekonduksian adalah 3D (eksponen  $\lambda_{3D}$  merujuk kepada kawasan fluktuasi tiga dimensi antara  $T_G$  dan  $T_{3D-2D}$ ).

Menurut Mumtaz et al. (2011) penurunan parameter kekisi  $c$  meningkatkan kelincahan cas bebas dalam tiga dimensi). Meskipun tiada perubahan ketara dalam parameter kekisi  $a$  dan  $b$ , terdapat penurunan parameter kekisi  $c$  apabila kandungan PbO menurun. Peralihan ke kawasan ketiga diperhatikan, (eksponen  $\lambda_{2D}$  merujuk kepada kawasan fluktuasi 2D antara  $T_{3D-2D}$  dan  $T_{2D-1D}$ ) apabila suhu diturunkan dan eksponen kekonduksian berubah daripada -1. Ini menunjukkan kewujudan keadaan fluktuasi dua dimensi. Kekonduksian di kawasan ini diwakili oleh gerakan cas pada satah dua dimensi  $\text{CuO}_2$  akibat daripada struktur berlapis superkonduktor suhu tinggi.



Bagi kawasan terakhir, (eksponen  $\lambda_{2D}$  sepadan dengan eksponen di atas  $T_{2D-1D}$ ) pada suhu yang lebih tinggi, kekonduksian lebih berkurangan secara mendadak daripada -1.5 hingga -2, menunjukkan peranan dominan fluktuasi gelombang pendek (Reggiani et al. 1991). Eksponen  $\lambda_{1D}$  merujuk kepada kawasan fluktuasi 1D di mana pasangan Cooper terbentuk dan terpecah serta-merta. Bagi membandingkan data eksperimen dengan ramalan teori, kawasan yang tersisih dari garis linear disuaikan dan kekonduksian eksponen nilai  $\lambda_D$  ditentukan daripada cerunnya.

$\xi_c(0)$  terpanjang dalam siri ini adalah 0.866 Å bagi sampel  $x = 0.25$ . Sampel ini juga menunjukkan nilai  $J$  tertinggi (0.296),  $N_G$  tertinggi (8.79) dan anisotropi paling rendah (11.54). PbO mengubah  $\xi_c(0)$  dan seterusnya mengurangkan anisotropi bagi sampel  $x \leq 0.25$ .  $\xi_c(0)$  meningkat sehingga  $x = 0.25$  dan kemudian berkurangan dengan peningkatan  $x$ . Ini menunjukkan bahawa PbO mengubah keadaan sampel daripada dopan tinggi ke dopan rendah selaras dengan perubahan  $T_c$ .

Sampel  $x = 0.35$  menunjukkan suhu genting tertinggi. Penambahan PbO seterusnya menurunkan kepekatan lohong serta suhu genting. Penurunan ini mungkin disebabkan oleh penurunan kandungan oksigen di dalam rantai CuO (Reggiani et al. 1991). Nilai  $\beta$  meningkat daripada  $2.83 \times 10^{-3}$  ke  $8.58 \times 10^{-3} \text{ m}\Omega\text{cm/K}$  apabila  $x$  meningkat daripada 0 ke 0.30 disebabkan perubahan dalam kepekatan pembawa apabila PbO meningkat dan kemudian berkurangan kepada  $3.14 \times 10^{-3} \text{ m}\Omega\text{cm/K}$  dengan peningkatan  $x > 0.30$ .

Analisis kekonduksian lebih menunjukkan bahawa dalam keadaan biasa terdapat empat kawasan peralihan yang berbeza disebabkan oleh penambahan PbO. Adalah jelas bahawa panjang koheren pada paksi-c yang paling panjang adalah dalam sampel dengan suhu genting tertinggi. Walau bagaimanapun, panjang koheren bertambah dalam sampel dopan rendah dan menurun dalam sampel dopan tinggi diikuti dengan peningkatan kepekatan lohong. Semua nilai gandingan antara lapisan  $J$  adalah kurang daripada satu. Ini menunjukkan gandingan yang lemah antara satah  $\text{CuO}_2$ .  $J$  meningkat apabila kandungan PbO meningkat sehingga  $x \leq 0.25$ . Ini bermakna penambahan PbO seterusnya ( $x > 0.25$ ) melemahkan gandingan antara satah  $\text{CuO}_2$ .

Struktur ortorombik dikekalkan dan tiada perubahan ketara dalam mikrostruktur. Oleh itu perubahan dalam kekonduksian elektrik adalah disebabkan oleh bendasing PbO yang ditambah yang menjadi pusat serakan dalam bahan ini.

#### KESIMPULAN

Sampel dengan komposisi permulaan  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}(\text{PbO})_x$  ( $x = 0 - 0.45$ ) telah disediakan dengan kaedah tindak balas keadaan pepejal. Sampel dengan  $x = 0.35$  menunjukkan  $T_{c \text{ mula}}$  tertinggi iaitu 94 K. Empat kawasan yang jelas berbeza terbentuk apabila suhu diturunkan. Kawasan-kawasan yang berbeza ini disuaikan dengan persamaan linear. Panjang koheren  $\xi_c(0)$  terpanjang adalah 0.866 Å bagi sampel  $x = 0.25$ . Sampel ini juga menunjukkan nilai

$J$  tertinggi (0.296),  $N_G$  tertinggi (8.79) dan anisotropi  $\gamma$  paling rendah (11.54). PbO mengurangkan anisotropi sampel dan meningkatkan kekuatan gandingan antara lapisan bagi  $x \leq 0.25$ . Selain itu, penambahan nano PbO mengubah  $T_{2D-3D}$  dengan peralihan tertinggi bagi sampel  $x = 0.35$ .  $T_{c \text{ mula}}$  dan  $T_{2D-3D}$  menunjukkan korelasi yang tinggi.

#### PENGHARGAAN

Penyelidikan ini telah dibiayai oleh Kementerian Pengajian Tinggi Malaysia di bawah Geran no. FRGS/2/2013/SG02/UKM/01/1 dan Universiti Kebangsaan Malaysia di bawah Geran no. DPP-2015-036.

#### RUJUKAN

- Abd-Shukor, R. & Tee, K.S. 1998. Effectiveness of bi versus pb on the superconducting properties of the  $\text{TiSr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_7$  (1212) phase. *J. of Mat. Sci. Lett.* 17: 103-106.
- Abd-Shukor, R., Kong, I., Lim, E.L., Mizan, N.A., Alwi, H.A., Jumali, M.H. & Kong, W. 2012. Enhanced critical current density of  $\text{FeF}_2$  added  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* 25: 957-960.
- Al-Sharabi, A. & Abd-Shukor, R. 2014a. Excess conductivity analysis of Cr substituted  $\text{TiSr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{7-\delta}$  superconductor at Ti and Ca sites. *Journal of Alloys and Compounds* 516: 363-371.
- Al-Sharabi, A. & Abd-Shukor, R. 2014b. Effect of Re substitution on the formation and fluctuation-induced conductivity of a  $\text{TiSr}_2(\text{Ca}_{1-x}\text{Re}_x)\text{Cu}_2\text{O}_{7-\delta}$  ( $x = 0.05 - 0.30$ ) superconductor. *Ceramics International* 40: 9383-9388.
- Aly, A.I.A., Ibrahim, I.H., Awad, R.A. & El-Harizy, A. 2010. Stabilization of Tl-1223 phase by arsenic substitution. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* 23: 1325-1332.
- Asmalazov, L.G. & Larkin, A.I. 1968a. The critical current of superconducting contacts in a superconductor above the critical temperature. *Sov. Phys. Solid State* 10: 875-880.
- Asmalazov, L.G. & Larkin, A.I. 1968b. Vliyanie fluktuatsii na svoistva sverkhprovodnika pri temperaturakh vyshe kriticheskoi. *Fiz. Tverd. Tela* 10: 1104-1111.
- Aswal, D.K., Singh, A., Sen, S., Kaur, M., Viswandham, C.S., Goswami, G.L. & Gupta, S.K. 2002. Effect of grain boundaries on paraconductivity of  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ . *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 63(10): 1797-1803.
- Campbell, T.A., Haugan, T.J., Maartense, I., Murphy, J., Brunke, L. & Barnes, P.N. 2005. Flux pinning effects of  $\text{Y}_2\text{O}_3$  nanoparticulate dispersions in multilayered YBCO thin films. *Physica C* 423: 1-8.
- Hamid, N.A. & Abd-Shukor, R. 2000. Effects of  $\text{TiO}_2$  addition on the superconducting properties of Bi-Sr-Ca-Cu-O system. *J. of Mat. Sci.* 35: 2325-2329.
- Han, S., Bryntse, I., Axnas, J., Zhao, B.R. & Rapp, O. 2004. Fluctuation conductivity at high temperature in polycrystalline Hg, Tl-1223 is there 1D fluctuation behavior. *Physica C* 408: 679-680.
- Han, S.H. & Rapp, O. 1995. Superconducting fluctuations in the resistivity of Bi-based 2:2:2:3. *Solid State Communications* 94: 661-666.
- He, Z.H., Habisreuther, T., Bruchlos, G., Litzkendorf, D. & Gawalek, W. 2001. Investigation of microstructure of textured YBCO with addition of nanopowder  $\text{SnO}_2$ . *Physica C* 325: 277-284.

- Hikami, S. & Larkin, A.I. 1988. Magnetoresistance of high temperature superconductors. *Mod. Phys. Lett. B* 2: 693-698.
- Hohenberg, P.C. & Halperin, B.I. 1977. Theory of dynamic critical phenomena. *Rev. Mod. Phys.* 49: 435-479.
- Islam, M.R. & Pramanik, M.H.A. 1997. Reduced paraconductivity: Evidence for a mean-field transition at  $T_c^{MF}$  and a dimensional crossover temperature above  $T_c^{MF}$ . *Physical Review B* 55: 6621-6624.
- Khurram, A.A., Khan, N.A. & Mumtaz, M. 2009. Intercomparison of fluctuation induced conductivity of  $Cu_{0.5}Ti_{0.5}Ba_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+1}$  ( $n = 2, 3, 4$ ) superconductor thin films. *Physica C* 469: 279-282.
- Lawrence, W.E. & Doniach, S. 1971. Theory of layer structure superconductors, Dlm. Kanda, E. (pnyt). *Proceedings of the Twelfth International Conference on Low Temperature Physics*. Keigaku, Tokyo. hlm. 361-362.
- Lobb, C.J. 1987. Critical fluctuations in high- $T_c$  superconductors. *Phys. Rev. B* 36: 3930-3932.
- Mohammed, N.H. 2013. The excess conductivity of  $(Cu_{0.5}Ti_{0.5})$ -1223 superconductor substituted by Ti. *Physica C* 485: 95-101.
- Mumtaz, M., Khan, N.A. & Ashraf, F. 2011. Enhanced superconductivity in  $(Cu_{0.5}Ti_{0.25}M_{0.25})Ba_2Ca_2Cu_3O_{10-\delta}$  samples. *J. Supercond. Nov. Magn.* 24: 1547-1551.
- Ramin Yousefi, Farid Jamali Sheini, Abdolhossein Sa' Aedi & Mohsen Cheraghizade. 2015. Growth and characterization of PbO nanorods grown using facile oxidation of lead sheet. *Sains Malaysiana* 44: 291-294.
- Reggiani, L., Vaglio, R. & Varlamo, A.A. 1991. Fluctuation conductivity of layered high- $T_c$  superconductors: A theoretical analysis of recent experiments. *Phys. Rev. B* 44: 9541-9546.
- Sahoo, M. & Behera, D. 2014. Effect of Ti doping on structural and superconducting property of  $YBa_2Cu_3O_{7-y}$  High  $T_c$  superconductor. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* 27: 83-93.
- Sahoo, M., Giri, D. & Behera, D. 2014. Study of structural modification and fluctuation induced electrical conductivity in  $YBa_2Cu_3O_{7-y} + xBaSnO_3$  superconductor composite. *Journal of Low Temperature Physics* 177: 257-273.
- Sarmiento, R.M.P., Oribe Laverde, M.A., Vera Lopez, E., Landinez, D.A. & Roa-Rojas, J. 2007. Conductivity, fluctuation and superconducting parameters of the  $YBa_2Cu_{3-x}(PO_4)_xO_{7-\delta}$  material. *Physica B* 398: 360-363.
- Sato, T., Nakane, H., Mori, N. & Yoshizawa, S. 2001. Fluctuation conductivity analysis for Bi-2223 superconductors with different sintering time. *Physica C* 357-360: 244-247.
- Sharma, S.V., Sinha, G., Nath, T.K., Chakroborty, S. & Majumdar, A.K. 1995. Superconducting fluctuation study of the 110 K phase in polycrystalline  $Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr_2Ca_2Cu_3O_y$  high- $T_c$  superconductor. *Physica C* 242: 351-359.
- Thompson, R.S. 1970. Microwave, flux flow, and fluctuation resistance of dirty type-II superconductors. *Phys. Rev. B* 1: 327-333.
- Vidal, F.J.A., Veira, J., Maza, F., Garcia-Alvarado, M., Moran & Alario, M.A. 1988. Excess electrical conductivity above  $T_c$  in high-temperature superconductors, and thermal fluctuations. *Journal of Physics C* 21: L599-L606.
- Yusuf, A.A., Yahya, A.K., Khan, N.A., Md. Salleh, F., Marsom, E. & Huda, N. 2011. Effect of  $Ge^{4+}$  and  $Mg^{2+}$  doping on superconductivity, fluctuation induced conductivity and interplanar coupling of  $TiSr_2CaCu_2O_{7-\delta}$  superconductors. *Physica C* 471 (11-12): 363-372.
- Zhao, Y., Cheng, C.H. & Wang, J.S. 2005. Flux pinning by NiO-induced nano-pinning centers in melt-textured YBCO superconductor. *Supercond. Sci. & Technol.* 18: S43-S46.

Annas Al-Sharabi  
Department of Physics, Faculty of Applied Sciences  
Thamar University, Thamar  
Republic of Yemen

Sarah Yasmin Tajuddin, Au Diya Fatimah Wan Saffiey,  
Syazana Jasman, H.A. Alwi, M.H. Jumali & R. Abd-Shukor\*  
School of Applied Physics  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 Bangi, Selangor Darul Ehsan  
Malaysia

\*Pengarang untuk surat-menyurat; email: ras@ukm.edu.my

Diserahkan: 24 Jun 2016  
Diterima: 4 Ogos 2016