

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Sejak ditemukan pertama kali oleh Heik Kamerling Onnes pada tahun 1911, superkonduktor telah menarik perhatian para Peneliti dan menjadi salah satu bidang penelitian yang terus berkembang hingga saat ini. Dalam penelitiannya, Onnes mengamati bahwa air raksa (Hg) mengalami transisi menuju superkonduktor ketika resistivitas listriknya menjadi nol pada suhu kritis (T_c) 4,2 K. Penemuan ini menjadi titik awal dalam eksplorasi sifat unik superkonduktor dan potensinya dalam berbagai aplikasi teknologi modern.

Superkonduktor merupakan fenomena fisika yang memungkinkan suatu material memiliki resistivitas nol dan menunjukkan sifat diamagnetik sempurna pada suhu tertentu sehingga arus listrik dapat mengalir tanpa hambatan sekaligus mengusir medan magnet eksternal (Castelvecchi, 2023). Keistimewaan ini menjadikan superkonduktor sangat menarik untuk diterapkan di berbagai bidang, terutama dalam teknologi tinggi yang membutuhkan efisiensi tinggi dan stabilitas medan magnet. Salah satu contoh pengaplikasiannya dalam bidang kesehatan, yaitu *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) yang menggunakan material superkonduktor NbTi dan Nb₃Sn dalam bentuk kumparan magnet superkonduktor. Selain itu superkonduktor juga diaplikasikan pada *nuclear magnetic resonance* (NMR), *high energy physics*, transportasi seperti kereta maglev, transmisi energi, dan *smart grid* (Pramono, 2020).

Perkembangan penelitian superkonduktor semakin pesat, terutama setelah ditemukannya superkonduktor suhu tinggi pertama dengan T_c 30 K dalam BaLaCuO oleh Johannes George Bednorz dan Karl Alexander

Muller pada tahun 1986 (Bednorz & Muller, 1986). Penelitian ini bahkan dianugerahi nobel fisika pada tahun 1987 (Nature, 1987). Meskipun banyak material superkonduktor yang telah ditemukan, sebagian besar masih memerlukan pendingin hingga suhu yang sangat rendah, seperti helium cair dengan titik didih -269°C , sehingga biaya operasionalnya cukup tinggi. Oleh karena itu, para peneliti terus berupaya menemukan material superkonduktor yang berfungsi pada suhu yang lebih tinggi, agar mengurangi ketergantungan terhadap pendingin dan memperluas potensi aplikasinya secara ekonomis dan praktis.

Salah satu material yang baru-baru ini mendapatkan perhatian besar dalam bidang superkonduktor adalah $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$ yang akrab disebut sebagai LK99 yang di klaim sebagai material superkonduktor suhu ruang dengan T_c 400 K (127°C) (Lee & Kim, 2023). Material ini dikembangkan dari *sintering* lanarkit (Pb_2SO_5) dan tembaga fosfida (Cu_3P), dengan dugaan bahwa Pb dan Cu menyebabkan transformasi isolator-logam yang mempengaruhi struktur kristalnya. Proses ini diduga meningkatkan interaksi antar muatan listrik, mendukung pertumbuhan pasangan Cooper, serta memungkinkan resistivitas nol. Selain itu $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$ juga diklaim menunjukkan efek Meissner, yaitu kemampuan material untuk menolak medan magnet saat berada dalam kondisi superkonduktor (Lee, et.al., 2023).

Klaim awal mengenai sifat superkonduktivitas $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$ menjadi perhatian banyak peneliti dan mendorong dilakukannya studi lanjutan untuk mengevaluasi kebenaran temuan tersebut. Sejumlah penelitian terbaru menunjukkan data yang tidak konsisten dan mengindikasikan bahwa $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$ lebih menyerupai semikonduktor daripada superkonduktor. Salah satu studi yang dilakukan oleh Liu, et al (2023) mengungkapkan bahwa material ini memiliki

resistivitas yang cukup tinggi, yaitu $1.94 \times 10^4 \Omega \text{ cm}$, serta tidak menunjukkan efek Meissner yang merupakan indikator utama sifat superkonduktivitas. Temuan ini memunculkan kebutuhan akan penyelidikan lebih lanjut untuk memahami karakteristik intrinsik material tersebut, khususnya melalui analisis mikrostruktur dan karakterisasi sifat kelistrikannya, guna memahami hubungan antara struktur internal dan perilaku elektris yang ditunjukkan. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap potensi aplikasi material dalam sistem elektronik dan material fungsional lainnya (Si, et.al., 2024).

Langkah awal untuk mengeksplorasi karakteristik material $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$, dilakukan melalui proses sintesis menggunakan metode reaksi padat (*solid state reaction*). Metode ini dikenal luas dalam sintesis senyawa anorganik karena kemudahannya, serta tidak memerlukan banyak jenis prekursor. Prosedurnya melibatkan pencampuran dua atau lebih bahan padat yang kemudian dipanaskan pada suhu tinggi, sehingga memberikan energi yang memungkinkan atom atau ion dalam bahan saling berinteraksi dan membentuk senyawa baru. Keunggulan dari metode ini terletak pada kesederhanaan dan efisiensinya, serta kemampuannya dalam memungkinkan kontrol parameter sintesis, sehingga dapat menghasilkan material target dengan karakteristik yang diharapkan (Febriani, et al., 2018).

Modifikasi sifat material dapat dilakukan melalui pendekatan iradiasi partikel berenergi tinggi, yang merupakan salah satu metode paling umum dalam memodifikasi sifat material hasil sintesis. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa iradiasi partikel seperti neutron, elektron, proton sinar gamma dan sinar-X dapat dimanfaatkan untuk memodifikasi sifat listrik material superkonduktor. Meskipun iradiasi tidak secara

langsung meningkatkan sifat superkonduktivitas, proses ini berperan dalam mengubah karakteristik kelistrikan suatu material. Salah satu mekanisme utama yang terjadi adalah pembentukan cacat struktur dalam kisi kristal material akibat tumbukan partikel energi tinggi, yang dapat mempengaruhi interaksi elektron serta karakteristik transport listriknya (Hongmei, et.al., 2020).

Pemahaman yang mendalam mengenai dampak iradiasi terhadap karakteristik material memerlukan kajian lanjutan yang secara khusus memfokuskan pada pengaruhnya terhadap mikrostruktur dan sifat kelistrikan. Dalam hal ini, iradiasi gamma menjadi teknik yang menarik untuk dieksplorasi, karena telah terbukti mampu memodifikasi struktur mikro material. Efek yang ditimbulkan dari proses iradiasi gamma pada material mencakup peningkatan kepadatan arus kritis (J_c) serta penurunan resistivitas, yang keduanya berkontribusi pada optimasi performa material superkonduktor (Aksenova, et al., 1995)

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis komprehensif terhadap efek iradiasi gamma terhadap mikrostruktur dan sifat kelistrikan material $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perubahan yang terjadi sebelum dan sesudah perlakuan iradiasi gamma, guna memperoleh pemahaman lebih mendalam tentang mekanisme modifikasi sifat listrik dan mikrostruktur material. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat memberikan kontribusi intelektual terhadap pengembangan karakterisasi material dan pemahaman mengenai mekanisme perubahan sifat listrik serta mikrostruktur akibat proses iradiasi gamma.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan agar penelitian ini terfokus pada pokok permasalahan yang sesuai dengan rumusan dan tujuan penelitian. Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini diantaranya:

1. Material yang dikaji adalah $Pb_{10-x}Cu_x(PO_4)_6O$ dengan nilai $x = 1$.
2. Material disintesis menggunakan metode reaksi padat dari prekursor Pb_2SO_5 dan Cu_3P .
3. Terdapat tiga sampel utama yang dibedakan berdasarkan kondisi *sintering*:
 - a. LK991 dilakukan *sintering* dalam kondisi vakum, namun mengalami keretakan (pecah) pada tabung kuarsa selama proses *sintering*.
 - b. LK992 dan LK993 dilakukan *sintering* dalam kondisi non-vakum.
4. Iradiasi gamma menggunakan dosis tetap sebesar 300 kGy.
5. Penelitian ini difokuskan pada analisis pengaruh iradiasi gamma terhadap perubahan mikrostruktur dan sifat kelistrikan dari masing-masing sampel.
6. Mikrostruktur yang dikaji pada penelitian ini yaitu morfologi permukaan, komposisi unsur, pembentukan fasa dan ukuran partikel.
7. Sifat kelistrikan yang dipelajari yaitu relaksasi dielektrik, sifat konduktif dan resisitif material.
8. Alat karakterisasi yang digunakan yaitu *Scanning Electron Microscopy-Energi Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM-EDS) untuk mengetahui morfologi permukaan dan komposisi unsur, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa yang terbentuk, *Particle Size Analyzer* (PSA) untuk mengetahui ukuran partikel dan LCR *HiTester* untuk mengetahui sifat kelistrikan material.

9. Pengujian sifat kelistrikan dibatasi pada suhu ruangan sekitar 25°C.

C. Rumusan Masalah

Fokus permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana mikrostruktur $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$ sebelum dan setelah dilakukan iradiasi gamma?
2. Bagaimana sifat kelistrikan $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$ sebelum dan setelah dilakukan iradiasi gamma?

D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan poin-poin permasalahan yang ada maka tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui mikrostruktur $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$ sebelum dan setelah dilakukan iradiasi gamma.
2. Mengetahui sifat kelistrikan $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$ sebelum dan setelah dilakukan iradiasi gamma.

E. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian yang akan dilakukan ini diharapkan dapat memberikan manfaat teoritis maupun praktis, sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

Hasil penelitian dapat memberikan kontribusi pemikiran dalam studi terkait pengaruh iradiasi gamma pada mikrostruktur dan sifat kelistrikan suatu material, khususnya pada material $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$. Selain itu data yang dihasilkan dari penelitian ini bisa memberikan referensi untuk penelitian lebih lanjut terkait teknik modifikasi material dengan iradiasi gamma.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna tentang pemanfaatan teknik iradiasi gamma dalam modifikasi sifat material. Selain itu penelitian ini juga dapat mendukung inovasi dalam pengembangan teknologi berbasis material fungsional yang dapat dimanfaatkan dalam bidang elektronik dan energi.