

## ABSTRAK

Holifah

NIM: 211720018

Studi Pengaruh Iradiasi Gamma pada Material  $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$  yang Disintesis dengan Metode Reaksi Padat terhadap Mikrostruktur dan Sifat Kelistrikannya

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak iradiasi gamma terhadap mikrostruktur dan sifat kelistrikan material  $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$  (LK-99) yang disintesis dengan metode reaksi padat. Tiga sampel digunakan dengan kondisi *sintering* berbeda, LK991 dalam vakum namun mengalami keretakan, sementara LK992 dan LK993 dalam kondisi non-vakum. Iradiasi dilakukan menggunakan fasilitas IGMP dengan dosis 300 kGy. Aspek mikrostruktur yang diteliti meliputi morfologi permukaan, komposisi unsur, pembentukan fasa, dan ukuran partikel, sedangkan sifat kelistrikan mencakup relaksasi dielektrik, konduktivitas, dan resistivitas. Karakterisasi dilakukan dengan SEM-EDS, XRD, PSA, dan LCR HiTester. Hasil SEM mengungkap adanya agregasi besar dan perubahan morfologi permukaan setelah iradiasi, sementara EDS menunjukkan distribusi unsur Cu yang lebih merata. XRD mengidentifikasi penurunan intensitas difraksi dan kemunculan fasa baru seperti Anglesite dan Calcium dicopper oxide. Analisis PSA memperlihatkan bahwa ukuran partikel meningkat signifikan, dari rentang awal 584–818 nm menjadi 1231–1947 nm. Pengujian kelistrikan dengan pendekatan *cole-cole plot* menunjukkan bahwa tidak terdapat transisi menuju resistivitas nol pada suhu ruang, menandakan tidak adanya sifat superkonduktor. Iradiasi menyebabkan resistivitas meningkat dan respons relaksasi berubah, sehingga memperkuat karakteristik semikonduktor dengan hambatan tinggi. Temuan ini

menegaskan bahwa iradiasi gamma menghasilkan perubahan nyata pada struktur dan perilaku kelistrikan material, yang penting untuk pemahaman lebih lanjut mengenai performa  $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$ .

**Kata kunci:**  $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$ , metode reaksi padat, iradiasi gamma, mikrostruktur, sifat kelistrikan.

## ***ABSTRACT***

Holifah

NIM: 211720018

### Study of the Effect of Gamma Irradiation on $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$ Material Synthesized by Solid Reaction Method on Its Microstructure and Electrical Properties

This study aims to evaluate the impact of gamma irradiation on the microstructure and electrical properties of  $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$  (LK-99) material synthesized by solid reaction method. Three samples were used with different sintering conditions, LK991 in vacuum but cracked, while LK992 and LK993 in non-vacuum conditions. Irradiation was carried out using the IGMP facility at a dose of 300 kGy. Microstructural aspects studied include surface morphology, elemental composition, phase formation, and particle size, while electrical properties include dielectric relaxation, conductivity, and resistivity. Characterization was performed by SEM-EDS, XRD, PSA, and LCR HiTester. SEM results revealed large aggregations and changes in surface morphology after irradiation, while EDS showed a more even distribution of Cu elements. XRD identified a decrease in diffraction intensity and the appearance of new phases such as Anglesite and Calcium dicopper oxide. PSA analysis showed that the particle size increased significantly, from the initial range of 584-818 nm to 1231-1947 nm. Electrical testing with the cole-cole plot approach showed that there was no transition to zero resistivity at room temperature, indicating the absence of superconducting properties. Irradiation causes the resistivity to increase and the relaxation response to change, thus reinforcing the high resistance characteristics of semiconductors. These findings confirm that gamma irradiation produces noticeable changes in the structure and

electrical behavior of the material, which is important for further understanding the performance of  $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$ .

**Keywords:**  $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$ , solid state reaction method, gamma irradiation, microstructure, electrical properties.

### PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dan diajukan pada Program Studi Fisika Fakultas Sains Universitas Islam Negeri Sultan Maulana Hasanuddin Banten, ini sepenuhnya asli merupakan hasil karya tulis ilmiah saya pribadi.

Adapun tulisan maupun pendapat orang lain yang terdapat dalam skripsi saya ini telah saya sebutkan kutipannya secara jelas dengan etika keilmuan yang berlaku dibidang penulisan karya ilmiah.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau seluruh isi skripsi ini merupakan hasil perbuatan plagiarisme atau mencontek karya tulis orang lain, saya bersedia untuk menerima sanksi berupa pencabutan gelar kesarjanaan yang saya terima ataupun sanksi akademik lain sesuai yang berlaku.

Serang, 14 Juli 2025



Penulis

Nomor : -  
Lampiran Perihal : Satu (1) eks  
: Pengajuan Munaqasah  
a.n Holifah  
NIM. 211720018

Kepada Yth.  
Dekan Fakultas Sains  
UIN SMH Banten  
di-  
Serang

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dipermaklumkan dengan hormat, bahwa setelah membaca dan menganalisa serta mengadakan koreksi seperlunya, kami berpendapat bahwa skripsi saudari Holifah dengan NIM: 211720018 yang berjudul "Studi Pengaruh Iradiasi Gamma pada Material  $Pb_{10-x}Cu_x(PO_4)_6O$  yang Disintesis dengan Metode Reaksi Padat terhadap Mikrostruktur dan Sifat Kelistrikannya", telah dapat diajukan sebagai salah satu syarat untuk melengkapi ujian munaqasah pada Fakultas Sains Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Sultan Maulana Hasanuddin Banten.

Demikian atas segala perhatian Bapak kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Serang, 14 Juli 2025

Pembimbing I,



Muhamad Fajar Muarif, M.Sc  
NIP. 199402142022031002

Pembimbing II,



Prof. Dr-Ing. Andika W. P, M.Sc  
NIP. 197003131989011001

**STUDI PENGARUH IRADIASI GAMMA PADA MATERIAL  
 $Pb_{10-x}Cu_x(PO_4)_6O$  YANG DISINTESIS DENGAN METODE REAKSI  
PADAT TERHADAP MIKROSTRUKTUR DAN SIFAT  
KELISTRIKANNYA**

Oleh:

Holifah

211720018

Menyetujui,

Pembimbing I,



Muhamad Fajar Muarif, M.Sc

NIP. 199402142022031002

Pembimbing II,



Prof. Dr-Ing. Andika W. P. M.Sc


NIP. 197003131989011001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains

  
  
Dr. Asep Saefurohman, M. Si. Ef  
NIP. 197808272003121003

Ketua Program Studi

  
Elsi Ariani, M. Si.  
NIP. 198901232018012001

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi a.n. Holifah, NIM: 211720018 yang berjudul "Studi Pengaruh Iradiasi Gamma pada Material  $Pb_{10-x}Cu_x(PO_4)_6O$  yang Disintesis dengan Metode Reaksi Padat terhadap Mikrostruktur dan Sifat Kelistrikkannya" telah diujikan dalam Ujian Tugas Akhir Universitas Islam Negeri Sultan Maulana Hasanuddin Banten pada tanggal 09 Juli 2025.

Skripsi tersebut telah disahkan dan diterima sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) pada Fakultas Sains Universitas Islam Negeri Sultan Maulana Hasanuddin Banten.

Serang, 14 Juli 2025

Pembimbing I,



**Muhamad Fajar Muarif, M.Sc**

NIP. 199402142022031002

Pembimbing II,



**Prof. Dr-Ing. Andika W. P, M.Sc**

NIP. 197003131989011001

Mengetahui,

Penguji I



**Fina Fitratun Amaliyah, M.Sc**

NIP. 199002102025052002

Penguji II



**Beta Nur Pratiwi, M.Si**

NIP. 199301022023212036

Ketua Penguji



**Dr. Asep Saefurohman, M. Si.**

NIP. 197808272003121003

## PERSEMBAHAN

Ku persembahkan karya ini untuk:

*Abah dan Emak tersayang-👉*

**MOTTO**

*“ Ilmu bukanlah sekedar pencapaian, melainkan bentuk*

*Syukur atas akal yang Allah titipkan.*

*— Maka jangan pernah berhenti belajar ” 😊*

## RIWAYAT HIDUP

Holifah atau akrab disebut Ifah, adalah nama penulis skripsi ini. Ia lahir di Serang pada tanggal 09 Januari 2003, tepatnya di Kampung Sandahan Lor, Kabupaten Serang, Provinsi Banten. Penulis merupakan putri pertama dari enam bersaudara, dari pasangan Bapak Baehaki dan Ibu Fauziyah.

Pendidikan formalnya dimulai di SD Negeri Binangun yang diselesaikan pada tahun 2015. Selanjutnya, di SMP Negeri 2 Waringinkurung, lulus pada tahun 2018. Pendidikan menengah atas ditempuh di MAS Nurul Muhtadin, bersamaan dengan mengikuti Pendidikan kepesantrenan di Pondok Pesantren Nurul Muhtadin, dan lulus pada tahun 2021. Pada tahun yang sama, diterima sebagai mahasiswa di Universitas Islam Negeri Sultan Maulana Hasanuddin Banten (UIN SMH Banten) dan menerima beasiswa KIP-Kuliah dari Kementerian Agama Republik Indonesia. Program Studi Fisika di Fakultas Sains dipilih karena ketertarikan terhadap fenomena alam, serta luasnya cakupan dan aplikasi ilmu fisika yang dinilai sangat relevan dengan perkembangan teknologi masa depan. Lebih dari sekadar minat akademik, tekad untuk menjadi perempuan yang berpendidikan dan bermanfaat bagi masyarakat menjadi landasan utama dalam melanjutkan pendidikan tinggi.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam berbagai kegiatan organisasi kemahasiswaan. Pernah menjabat sebagai Sekretaris Bidang Pengembangan Minat dan Bakat (PMDB) serta Sekretaris Umum di Himpunan Mahasiswa Jurusan Fisika UIN SMH Banten. Kemudian bergabung dalam Himpunan Mahasiswa Bidikmisi (HMBM) UIN SMH Banten sebagai anggota bidang Nalar dan Intelektual. Di lingkungan Ma'had Al-Jami'ah UIN SMH Banten, penulis dipercaya sebagai Mudabbir dan selanjutnya sebagai Musyrifah. Pada tingkat regional, penulis menjabat sebagai Sekretaris Bidang Keilmuan dan Keprofesian dalam Ikatan Himpunan Mahasiswa Fisika

(IHAMAFI) Wilayah II Indonesia (Jawa Barat, DKI Jakarta dan Banten). Selain itu penulis juga berkesempatan mengikuti program Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) dan *Research Assistant* (RA) di Kelompok Riset Superkonduktor dan Aplikasinya (KR-SKA) Pusat Riset Material Maju (PRMM) Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).

## KATA PENGANTAR

Bismillaahirrahmaanirrahiim

Syukur Alhamdulillah, penulis panjatkan kepada Allah SWT, Rabb yang Maha Sempurna, Maha Kuasa, atas limpahan nikmatnya berupa Rahmat, petunjuk, serta kekuatan yang telah mengiringi setiap langkah dalam proses penyusunan skripsi ini. terselesaikannya skripsi ini merupakan anugerah yang sangat berharga. Penulis berharap karya ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca serta menjadi tambahan informasi dalam bidang yang dikaji.

Skripsi yang berjudul “Studi Pengaruh Iradiasi Gamma pada Material  $Pb_{10-x}Cu_x(PO_4)_6O$  yang Disintesis dengan Metode Reaksi Padat terhadap Mikrostruktur dan Sifat Kelistrikannya” ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana (S1) pada Program Studi Fisika, Fakultas Sains, Universitas Islam Negeri Sultan Maulana Hasanuddin Banten. Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari dukungan, bimbingan serta arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. **Bapak Prof. Dr. Wawan Wahyuddin, M.Pd., Rektor UIN Sultan Maulana Hasanuddin Banten.** Terima kasih atas kesempatan dan fasilitas yang diberikan kepada penulis untuk menempuh pendidikan di lingkungan UIN Sultan Maulana Hasanuddin Banten. Semoga kampus ini terus menjadi tempat tumbuhnya generasi berilmu dan berakhlak.
2. **Bapak Dr. Asep Saefurohman, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains.** Terima kasih atas dorongan dan motivasi yang diberikan kepada mahasiswa, termasuk penulis, dalam menyelesaikan studi.
3. **Ibu Elsi Ariani, M.Si., selaku Ketua Program Studi Fisika.** Terima kasih atas perhatian, semangat, dan arahnya selama penulis menempuh studi di Program Studi Fisika.

4. **Bapak Muhamad Fajar Muarif, M.Sc., selaku dosen pembimbing skripsi.** Terima kasih atas kesabaran dan ketelatenan dalam membimbing penulis selama proses penyusunan skripsi. Setiap arahan dan koreksi yang diberikan menjadi bekal berharga dalam menyempurnakan karya ini. Semoga Allah membalas kebaikan dan keikhlasan Bapak dengan keberkahan ilmu dan amal.
5. **Prof. Dr-Ing. Andika Widya Pramono, M.Sc., selaku dosen pembimbing tugas akhir di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).** Terima kasih yang sebesar-besarnya atas kesempatan berharga yang diberikan kepada penulis untuk bergabung dalam kelompok riset superkonduktor dan aplikasinya, serta atas bimbingan, arahan, dan dukungan yang sangat berarti selama proses penelitian dan penyusunan skripsi ini. Ilmu, wawasan, dan semangat riset yang beliau tanamkan menjadi bekal berharga dalam perjalanan akademik penulis. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan keberkahan atas setiap ilmu dan dedikasi yang beliau curahkan.
6. **Almarhum Bapak H. Sobri, M.M., selaku dosen pembimbing akademik.** Terima kasih atas bimbingan, arahan, dan terutama pelajaran hidup yang begitu membekas selama masa kuliah. Semoga Allah SWT menempatkan beliau di tempat terbaik di sisi-Nya. Aamiin.
7. **Bapak dan Ibu Dosen di lingkungan Fakultas Sains.** Terima kasih atas ilmu, bimbingan, dan keteladanan yang telah diberikan selama masa perkuliahan. Setiap pelajaran yang disampaikan menjadi bagian penting dalam membentuk cara berpikir dan karakter penulis.
8. **Segenap tim peneliti di Kelompok Riset Superkonduktor dan Aplikasinya** Terima kasih atas bantuan, kerja sama, dan suasana riset yang suportif. Keterbukaan beliau-beliau dalam berbagi ilmu telah memberikan pengalaman riset yang sangat berharga.

9. **Kementerian Agama Republik Indonesia.** Terima kasih atas dukungan melalui program beasiswa KIP-Kuliah yang sangat membantu kelancaran studi penulis.
10. **Kedua orang tua tercinta, Abah Baehaki dan Emak Fauziyah.** Terima kasih yang tak terhingga atas cinta yang tak pernah surut, doa yang senantiasa dilangitkan dalam diam, dan dukungan yang tak pernah lelah diberikan. Kasih sayang Abah dan Emak adalah fondasi utama dalam setiap langkah penulis, dari awal menempuh pendidikan hingga menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah SWT membalas segala pengorbanan dan cinta kalian dengan keberkahan yang tak terputus.
11. **Adik-adik tersayang, Dilah, Ami, Akbar, Afi dan Syifa.** Terima kasih atas kehangatan, keceriaan, dan semangat yang selalu kalian hadirkan. Kalian adalah pengingat bahwa perjuangan ini bukan hanya untuk diri sendiri, tapi juga untuk menjadi teladan dan harapan bagi keluarga.
12. **Sahabat-sahabat seperjuangan.** Terutama kepada keluarga besar Kerabat Khidmah Ma'had Al-Jami'ah dan seluruh Mahasiswa Jurusan Fisika angkatan 2021. Terima kasih atas kebersamaan, tawa, diskusi, dan semangat yang tak pernah padam. Kalian adalah bagian dari cerita indah dalam perjalanan ini.
13. **Seluruh pihak yang telah membantu.** Terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, namun telah memberikan bantuan, doa, dan dukungan dalam berbagai bentuk. Semoga Allah SWT membalas setiap kebaikan dengan pahala yang berlipat ganda. Aamiin.

Serang, 14 Juli 2025



Penulis

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>ix</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>x</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>xi</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>xii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>1</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN.....</b>	<b>2</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang Masalah .....	1
B. Batasan Masalah.....	5
C. Rumusan Masalah.....	6
D. Tujuan Penelitian.....	6
E. Manfaat Penelitian.....	6
1. Manfaat Teoritis .....	6
2. Manfaat Praktis.....	7
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA .....</b>	<b>8</b>
A. Kajian Teori.....	8
1. Material $Pb_{10} - xCu_x(PO_4)_6O$ .....	8
2. Superkonduktor .....	9
3. Metode Reaksi Padat .....	14
4. Iradiasi Gamma .....	19
5. Karakterisasi.....	21
B. Hasil Penelitian yang Relevan.....	27
C. Kerangka Berpikir .....	31

D. Hipotesis .....	32
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>33</b>
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	33
B. Alat dan Bahan .....	35
C. Jenis Metode Penelitian.....	39
D. Teknik Pengumpulan Data .....	40
E. Teknik Analisis Data .....	51
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>53</b>
A. Analisis Mikrostruktur.....	54
1. Analisis Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS).....	54
2. Analisis X-Ray Diffraction (XRD) .....	66
3. Analisis Particle Size Analyzer (PSA) .....	76
B. Analisis Sifat Kelistrikan.....	82
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>91</b>
A. Kesimpulan.....	91
B. Saran.....	93
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>94</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>100</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Rentang tingkat kevakuman menurut Alexander Roth dan Dorothy M. Hoffman.....	18
Tabel 2.2	Rentang tingkat kevakuman menurut John F O’Hanlon....	18
Tabel 3.1	<i>Timeline</i> Penelitian.....	33
Tabel 3.2	Alat Penelitian.....	35
Tabel 3.3	Bahan Penelitian.....	39
Tabel 3.4	Komposisi Bahan Penelitian.....	43
Tabel 3.5	Variasi sampel penelitian.....	47
Tabel 4.1	Hasil analisis komposisi unsur LK991, LK992, LK993....	63
Tabel 4.2	Hasil analisis komposisi unsur LK991-i, LK992-i, LK993-i.....	65
Tabel 4.3	Identifikasi Fasa pada sampel LK991, LK992 dan LK993	70
Tabel 4.4	Identifikasi Fasa pada sampel LK991-i, LK992-i dan LK993-i.....	75
Tabel 4.6	Analisis ukuran partikel rata-rata.....	80

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Fenomena levitasi $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$ .....	9
Gambar 2.2	Raksa menunjukkan resistivitas nol pada suhu 4,2 K.	10
Gambar 2.3	Hubungan $T_c$ dan resistivitas superkonduktor.....	11
Gambar 2.4	Ilustrasi pasangan cooper bergerak melewati kisi.....	13
Gambar 2.5	Efek Meissner.....	14
Gambar 2.6	Daerah tahanan positif dan daerah vakum.....	17
Gambar 2.7	Skema SEM.....	22
Gambar 2.8	Pembentukan sinar-X.....	23
Gambar 2.9	Skema Hukum Bragg.....	25
Gambar 2.10	Kerangka berpikir.....	32
Gambar 3.1	Tempat penelitian.....	33
Gambar 3.2	Skema teknik pengambilan data.....	41
Gambar 3.3	Dimensi ukuran <i>pellet</i> .....	44
Gambar 3.4	Sampel LK991, tabung kuarsa dan krusibel pecah saat sintering.....	48
Gambar 3.5	Tote iradiasi gamma.....	51
Gambar 4.1	Morfologi permukaan oleh citra SEM.....	57
Gambar 4.2	Mapping analisis unsur dengan EDS.....	60
Gambar 4.3	Pola difraksi sinar-X sampel LK991, LK992 dan LK993..	67
Gambar 4.4	Pola difraksi sinar-X sampel LK991-i, LK992-i dan LK993-i.....	71
Gambar 4.5	Distribusi ukuran partikel.....	76
Gambar 4.6	Cole-cole plot sampel $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_4)_6\text{O}$ .....	86

## DAFTAR SINGKATAN

- SEM : *Scanning Electron Microscopy*  
EDS : *Energy Dispersive Spectroscopy*  
XRD : *X-Ray Diffraction*  
PSA : *Particle Size Analyzer*  
IGMP : Iradiator Gamma Merah Putih