

PEMODELAN GENERASI HARMONIK KEEMPAT PADA PERMUKAAN PEROVSKITE MAPbI_3 DENGAN MODEL IKAT HIPERPOLARISABILITAS SEDERHANA

ETY RUSYDIYATI



DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
Bogor Indonesia

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



@Hak cipta milik *IPB University*

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Pemodelan Generasi Harmonik Keempat pada Permukaan Perovskite MAPbI₃ dengan Model Ikatan Hiperpolarisabilitas Sederhana” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Maret 2026

Ety Rusydiati
G7401211001

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



ABSTRAK

ETY RUSYDIYATI. Pemodelan Generasi Harmonik Keempat pada Permukaan Perovskite MAPbI₃ dengan Model Ikat Hiperpolarisabilitas Sederhana. Dibimbing oleh HENDRADI HARDHIENATA dan HUSIN ALATAS.

Perovskite metilammonium lead iodide (MAPbI₃) merupakan material potensial dalam optoelektronika karena pita energi yang dapat disesuaikan, efisiensi serapan cahaya tinggi, dan struktur kristal yang mendukung respons optik nonlinier. Penelitian ini mengkaji *Fourth Harmonic Generation* (FHG) pada permukaan MAPbI₃ (001) *point group* C_{2v} menggunakan *Simplified Bond Hyperpolarizability Model* (SBHM). Dengan mereduksi 40 ikatan menjadi 20 vektor efektif, diperoleh tensor suseptibilitas orde keempat untuk memprediksi intensitas FHG pada berbagai konfigurasi polarisasi. Hasil simulasi menunjukkan polarisasi s-s tidak menghasilkan FHG, sedangkan s-p, p-s, dan p-p menampilkan pola puncak dan lembah akibat interferensi ikatan. Temuan ini memberikan gambaran awal karakteristik FHG pada MAPbI₃ serta menegaskan keunggulan SBHM sebagai model sederhana yang konsisten dengan simetri dan sifat ikatan atom.

Kata kunci: MAPbI₃, generasi harmonik keempat, model ikat hiperpolarisabilitas sederhana, optik nonlinier.

ABSTRACT

ETY RUSYDIYATI. Modeling of Fourth Harmonic Generation on MAPbI₃ Perovskite Surfaces Using the Simplified Bond Hyperpolarizability Model. Dibimbing oleh HENDRADI HARDHIENATA dan HUSIN ALATAS.

Methylammonium lead iodide (MAPbI₃) perovskite is a promising material in optoelectronics due to its tunable band gap, high light absorption efficiency, and crystal structure that supports nonlinear optical responses. This study investigates Fourth Harmonic Generation (FHG) on the MAPbI₃ (001) surface with point group C_{2v} using the Simplified Bond Hyperpolarizability Model (SBHM). By reducing 40 bonds into 20 effective vectors, a fourth-order susceptibility tensor was obtained to predict FHG intensities under various polarization configurations. Simulation results show that the s-s configuration does not generate FHG, while s-p, p-s, and p-p configurations exhibit distinct peak and valley patterns arising from bond interference. These findings provide an initial characterization of FHG in MAPbI₃ and highlight the advantages of SBHM as a simple model consistent with symmetry and atomic bond properties.

Keywords: MAPbI₃, fourth harmonic generation, simplified bond hyperpolarizability model, nonlinear optics



© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PEMODELAN GENERASI HARMONIK KEEMPAT PADA PERMUKAAN PEROVSKITE MAPBI₃ DENGAN MODEL IKAT HIPERPOLARISABILITAS SEDERHANA

ETY RUSYDIYATI

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Fisika

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

1. Abd. Djamil Husin, S.Si., M.Si.

2. Prof. Dr. Akhiruddin, S.Si., M.Si.



Judul Skripsi : **Pemodelan Generasi Harmonik Keempat pada Permukaan Perovskite MAPbI_3 dengan Model Ikat Hiperpolarisabilitas Sederhana**

Nama : **Ety Rusydiyati**
NIM : **G7401211001**

Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. rer. nat. Hendradi Hardhienata, S.Si., M.Si.
NIP.198301142008121001



Pembimbing 2:
Prof. Dr. Husin Alatas, S.Si., M.Si.
NIP. 197106041998021001



Diketahui oleh

Ketua Departemen Fisika
Dr. Ir. Irmansyah, M.Si
NIP. 196809161994031001




Tanggal Ujian: **Senin, 2 Maret 2026**

Tanggal Lulus:



@Hak cipta milik *IPB University*

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanaahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga penelitian berjudul “Pemodelan Generasi Harmonik Keempat pada Permukaan Perovskite MAPbI₃ dengan Model Ikatan Hiperpolarisabilitas Sederhana” berhasil diselesaikan. Shalawat serta salam tak lupa tercurahkan kepada Rasulullah SAW. Penelitian ini tentu tidak mungkin terselesaikan tanpa bantuan banyak pihak yang membantu penulis selama berkuliah di Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. rer. nat. Hendradi Hardhienata, S.Si., M.Si. dan Prof. Dr. Husin Alatas, S.Si., M.Si. yang telah membimbing, memberikan saran, semangat serta nasihat kepada penulis selama proses penelitian. Tidak lupa juga kepada Pak Abd. Djamil Husin, S.Si., M.Si. dan Prof. Dr. Akhiruddin, S.Si., M.Si. yang telah memberikan kritik dan saran terkait penelitian.
2. Para dosen di Departemen Fisika yang telah memberikan banyak ilmu, wawasan dan pemahaman fisika kepada penulis.
3. Ayah, Abdul Mukmin dan Umak, Juairiyah, serta kakak-kakak penulis Sandy Juli Maulana, Rani Septyarini dan Ratna Hartiningtyas atas doa, dukungan moral maupun finansial, kasih sayang, perhatian, semangat, nasihat, dan bimbingan yang selalu diberikan sehingga penulis dapat melangkah sejauh ini.
4. Kakak-kakak dan teman-teman Kos Pondok Dika yang senantiasa memberikan bantuan dan semangat selama masa perkuliahan penulis.
5. Teman-teman Tim *Vibration* PKM KC 2024, Fisika angkatan 58 *Theophylis*, dan para kakak asisten praktikum maupun responsi atas nasihat, semangat, dan dukungan.
6. Para tendik, civitas akademik Fisika IPB yang memberikan bantuan penulis dalam perihal administrasi.

Semoga penelitian ini dapat memberikan kontribusi dan bermanfaat bagi banyak pihak, terutama bagi ranah penelitian fisika.

Bogor, Maret 2026

Ety Rusydiyati



@Hak cipta milik *IPB University*

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	ix
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Generasi Harmonik Keempat (FHG)	3
2.2 Model Ikatan Hiperpolarisabilitas Sederhana (SBHM)	4
2.3 Struktur Perovskite MAPbI ₃	6
III METODE	7
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	7
3.2 Alat dan Bahan	7
3.3 Prosedur Penelitian	7
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	8
4.1 Model SBHM pada Permukaan MAPbI ₃	8
4.2 Membandingkan Tensor Suseptibilitas Orde Keempat Menggunakan SBHM dengan Hasil Teori Grup Literatur	9
4.3 Intensitas <i>Fourth Harmonic Generation</i>	11
V SIMPULAN DAN SARAN	16
5.1 Simpulan	16
5.2 Saran	16
DAFTAR PUSTAKA	17
LAMPIRAN	19
RIWAYAT HIDUP	28



DAFTAR GAMBAR

1	Visualisasi polarisasi pada arah medan datang (E_{in}) dan medan keluaran (E_{out})	5
2	Struktur Model struktur kristal perovskite $MAPbI_3$ fase tetragonal divisualisasikan menggunakan VESTA 3.0 (a) tampilan dari samping (b) tampilan dari atas unit cell	6
3	Struktur kristal perovskite $MAPbI_3$ <i>point group</i> C_{2v}	8
4	Struktur kristal perovskite $MAPbI_3$ pada permukaan memiliki 40 vektor ikatan (Hardhienata <i>et al.</i> 2024)	9
5	(a) Grafik intensitas keluaran pada polarisasi s-s (I_{ss}) terhadap sudut rotasi ϕ (b) grafik polar I_{ss} (jari-jari) terhadap sudut rotasi ϕ (c) intensitas SHG polarisasi s-s (Priatama 2019) (d) intensitas THG polarisasi s-s (Alkaf 2019)	12
6	(a) Grafik intensitas keluaran pada polarisasi s-p (I_{sp}) terhadap sudut rotasi ϕ (b) grafik polar I_{sp} (jari-jari) terhadap sudut rotasi ϕ (c) intensitas SHG polarisasi s-p (Priatama 2019) (d) intensitas THG polarisasi s-p (Alkaf 2019)	13
7	(a) Grafik intensitas keluaran pada polarisasi p-s (I_{ps}) terhadap sudut rotasi ϕ (b) grafik polar I_{ps} (jari-jari) terhadap sudut rotasi ϕ (c) intensitas SHG polarisasi p-s (Priatama 2019) (d) intensitas THG polarisasi p-s (Alkaf 2019)	14
8	(a) Grafik intensitas keluaran pada polarisasi p-p (I_{pp}) terhadap sudut rotasi ϕ (b) grafik polar I_{pp} (jari-jari) terhadap sudut rotasi ϕ (c) intensitas SHG polarisasi p-p (Priatama 2019) (d) intensitas THG polarisasi p-p (Alkaf 2019)	15

DAFTAR LAMPIRAN

1	Diagram alir pelaksanaan penelitian	19
2	Suseptibilitas orde keempat (tensor rank lima) 243 komponen	20
3	Hasil perhitungan medan jauh dan intensitas pada <i>point group</i> C_{2v}	21
4	Sintak program SBHM FHG	23
5	Sintak program teori grup untuk tensor rank lima	26
6	Tabel intensitas FHG pada empat polarisasi terhadap sudut azimutal	27