

Pengaruh Penambahan *Phenethylammonium Iodida* (PEAI) terhadap Struktur dan Sifat Optik Lapisan *Perovskite Solar Cell* FAPbI₃

Poni Dwi Manda¹, Dahyunir Dahlan^{1*}, Harmadi¹, Akrajas Ali Umar²

¹Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

²Institute of Microengineering and Nanoelectronic, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43000 UKM
Bangi, Selangor, Malaysia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 13 Februari 2025
Direvisi: 20 April 2025
Diterima: 31 Mei 2025

Kata kunci:

Formanidinium Timbal Iodida
Fenetilamonium Iodida
Spektrum Uv-Vis
Ukuran Butir

Keywords:

formanidinium timbal iodida
fenetilamonium iodida
UV-Vis Spectrum
Grain Size

Penulis Korespondensi:

Dahyunir Dahlan
Email: dahyunir@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini mengeksplorasi pengaruh doping *fenetilamonium iodida* (PEAI) terhadap ukuran butir dan kemampuan penyerapan pada lapisan perovskit *formanidinium timbal iodida* (FAPbI₃). FAPbI₃ dipilih sebagai objek studi karena potensi aplikasinya dalam teknologi sel surya berbasis perovskit. Dalam eksperimen ini, lapisan perovskit FAPbI₃ disiapkan dengan variasi doping PEAi menggunakan metode *spin-coating* dua tahap. Analisis spektrum *ultraviolet-visible* (UV-Vis) menunjukkan bahwa lapisan perovskit memiliki karakteristik serapan optik yang khas pada panjang gelombang 780 nm, dengan nilai energi gap yang terukur sebesar 1,48 eV pada konsentrasi PEAi 2 mg/ml. Selain itu, morfologi permukaan FAPbI₃ menunjukkan peningkatan ukuran butir seiring dengan penambahan doping PEAi, di mana ukuran butir optimal tercatat pada doping 2 mg/ml dengan ukuran $0,54 \pm 0,03 \mu\text{m}$ dan morfologi yang halus serta homogen. Temuan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sel surya yang lebih efisien dan stabil.

This study explores the effect of doping phenethylammonium iodide (PEAI) on grain size and absorption ability in the perovskite formanidinium lead iodide (FAPbI₃) layer. FAPbI₃ was chosen as the object of study because of its potential application in perovskite-based solar cell technology. In this experiment, the FAPbI₃ perovskite layer was prepared with a PEAi doping variation using a two-stage spin-coating method. Ultraviolet-visible (UV-Vis) spectrum analysis showed that the perovskite layer has typical optical absorption characteristics at a wavelength of 780 nm, with a measured energy gap value of 1.48 eV at a PEAi concentration of 2 mg/ml. In addition, the surface morphology of FAPbI₃ showed an increase in grain size along with the addition of PEAi doping, where the optimal grain size was recorded at a doping of 2 mg/ml with a size of $0.54 \pm 0.03 \mu\text{m}$ and a smooth and homogeneous morphology. These findings are expected to make a significant contribution to the development of more efficient and stable solar cells.

I. PENDAHULUAN

Teknologi sel surya sebagai perangkat pengkonversi energi Matahari menjadi listrik terus mengalami perkembangan signifikan, dengan sel surya berbasis material perovskit muncul sebagai kandidat yang sangat menjanjikan dalam generasi teknologi fotovoltaiik terbaru (Rasheed et al., 2023). Material perovskit memiliki struktur kristal dengan rumus umum ABX₃, dimana A adalah kation organik atau anorganik (seperti *methylammonium* (MA⁺), *formamidinium* (FA⁺), atau Cs⁺), B adalah kation logam divalen (umumnya Pb²⁺ atau Sn²⁺), dan X adalah anion halida (seperti I⁻, Br⁻, atau Cl⁻) (Zhang et al., 2021). Struktur ini membentuk oktahedral BX₆ yang saling terhubung dengan kation A yang berada di pusat kubik yang dibentuk oleh oktahedral tersebut. Fleksibilitas dalam pemilihan komponen A, B, dan X memungkinkan pengaturan sifat optoelektronik material, termasuk *band gap* dan stabilitas struktur (Jeong et al., 2021).

Dalam satu dekade terakhir, sel surya perovskit telah menunjukkan peningkatan efisiensi konversi daya yang luar biasa, dari sekitar 3.8% pada tahun 2009 hingga melebihi 25% pada saat ini (Wang et al., 2020). Di antara berbagai jenis material perovskit, *formamidinium lead iodide* (FAPbI₃) telah menarik perhatian khusus karena memiliki beberapa keunggulan dibandingkan *methylammonium lead iodide* (MAPbI₃) yang lebih umum digunakan (Barrit et al., 2020). FAPbI₃ memiliki *band gap* yang lebih optimal sekitar 1.48 eV yang mendekati *band gap* ideal untuk sel surya *single junction*, serta stabilitas termal yang lebih baik karena ukuran kation formamidinium yang lebih besar (Zheng et al., 2022). Salah satu masalah utama adalah ketidakstabilan fase α -FAPbI₃ yang merupakan fase fotoaktif yang diinginkan, dimana material ini cenderung bertransformasi menjadi fase δ yang tidak diinginkan pada suhu ruang akibat pengaruh termal lingkungan dan cacat struktur kristal yang membuat energi aktivasi transisi fase relatif rendah (Umar et al., 2024). Selain itu, kontrol morfologi dan ukuran butir kristal FAPbI₃ juga menjadi faktor kritis yang mempengaruhi performa sel surya, karena hal ini berkaitan langsung dengan efisiensi transport pembawa muatan dan rekombinasi pada antarmuka (Kumar et al., 2024).

Modifikasi permukaan dengan menggunakan *phenylethylammonium iodide* (PEAI) telah diidentifikasi sebagai pendekatan yang menjanjikan dalam meningkatkan performa dan stabilitas material perovskit FAPbI₃ (Dahlan et al., 2025). PEAi berperan sebagai pasivasi antarmuka pada struktur tiga dimensi (3D) FAPbI₃, di mana PEAi membentuk interaksi kimia dengan permukaan kristal FAPbI₃ sehingga menutupi cacat permukaan dan meningkatkan stabilitas serta kualitas lapisan perovskit (Dahlan et al., 2023). Pembentukan lapisan dua dimensi (2D) pada permukaan struktur tiga dimensi (3D) FAPbI₃ turut berperan dalam menekan rekombinasi non-radiatif dan meningkatkan efisiensi ekstraksi pembawa muatan melalui isolasi cacat permukaan dan peningkatan transfer muatan. Studi sebelumnya melaporkan bahwa penambahan PEAi mampu meningkatkan efisiensi konversi daya hingga 21%, menunjukkan potensi besar strategi ini dalam pengembangan sel surya perovskit berperforma tinggi (Dahlan et al., 2025).

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa penambahan aditif seperti Phenethylammonium Iodide (PEAI) memiliki pengaruh signifikan terhadap struktur mikro dan sifat optik lapisan perovskit, khususnya pada material FAPbI₃. Berdasarkan penelitian (Sha et al., 2023) FAPbI₃ menerapkan perlakuan CTAB setelah lapisan perovskit, dimana mendapatkan nilai energi gap sebesar 1,53 eV. menunjukkan bahwa penambahan aditif tidak merusak kemampuan serapan cahaya, tetapi bahkan sedikit memperluas rentang penyerapan ke panjang gelombang yang lebih rendah, sehingga meningkatkan efisiensi konversi energi. Selain itu, ukuran butir kristal juga sangat berpengaruh terhadap sifat optik dan elektronik lapisan perovskit. (Hardi et al., 2023) melaporkan bahwa ukuran butiran MAPbI₃ meningkat dari 95 nm menjadi 117 nm setelah ditambahkan PEAi. Oleh karena itu penambahan PEAi berpotensi meningkatkan kualitas struktur dan sifat optik lapisan perovskit FAPbI₃, yang ditandai dengan nilai energi gap dan peningkatan ukuran kristal. Peningkatan tersebut menjadikan PEAi sebagai aditif yang relevan dalam pengembangan sel surya berbasis perovskit yang stabil dan efisien.

Penelitian ini mengkaji pengaruh penambahan PEAi terhadap karakteristik optik, morfologi, dan stabilitas lapisan tipis FAPbI₃ yang difabrikasi di atas SnO₂ menggunakan metode *spin coating* dua langkah. Pada tahap pertama, larutan PbI₂ dan PEAi dideposisikan untuk membentuk lapisan dasar yang dimodifikasi, diikuti oleh deposisi larutan formamidinium iodide (FAI), metilamonium iodida (MAI), dan metilamonium klorida (MAcI) pada tahap kedua untuk membentuk struktur perovskite akhir.

Modifikasi permukaan dengan PEAi diharapkan meningkatkan kualitas film, efisiensi ekstraksi, dan transport elektron. Melalui karakterisasi UV-Vis, penelitian ini bertujuan untuk memahami bagaimana PEAi mempengaruhi pola absorbansi dan struktur elektronik material, sementara analisis FESEM akan memberikan informasi tentang perubahan morfologi dan ukuran partikel yang dihasilkan dari modifikasi permukaan menggunakan PEAi. Pemahaman yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan berharga untuk pengembangan strategi optimasi lebih lanjut dalam fabrikasi sel surya perovskite berbasis FAPbI₃ dengan performa dan stabilitas yang lebih baik. Hasil penelitian ini juga dapat berkontribusi pada pengembangan teknologi sel surya perovskit yang lebih efisien dan layak untuk aplikasi komersial di masa depan.

II. METODE

2.1 Persiapan Prekursor Perovskit

Larutan koloidal SnO₂ 15% digunakan sebagai lapisan transport elektron yang diperoleh dari sumber komersial, yaitu bersumber dari Alfa Aesar. Larutan timbal iodida dibuat dengan melarutkan 600 mg bubuk timbal iodida (TCI, Jepang) dalam campuran 0,8 mL dimetilformamida (DMF) dan 0,2 mL dimetil sulfoksida (DMSO) [19-22]. Campuran tersebut ditambahkan 2 mg/mL heksametilenetetramina (HMT) dan 2 mg/mL formamidinium iodida (FAI). Larutan ditempatkan di atas *hotplate* bersuhu 60°C dan diaduk kontinyu pada 700 rpm selama 4 jam. Selanjutnya, larutan Peniletilamonium iodida (PEAI) ditambahkan ke dalam PbI₂ dengan konsentrasi bervariasi 1, 2, 3, dan 4 mg/mL untuk mengetahui efek doping. Setelah lapisan PbI₂/PEAI terbentuk, Larutan kedua mengandung FAI, MAI, dan MACl yang diperoleh dari Greatcells Solar, ditambahkan untuk membentuk struktur kristal perovskite FAPbI₃ melalui interaksi antarmuka. Sebanyak 90 mg FAI, 9 mg MACl, dan 6 mg MAI dilarutkan dalam 1 mL isopropanol (IPA). Larutan diaduk dan didiamkan minimal 4 jam. Sebelum preparasi lapisan perovskit, semua larutan disaring menggunakan filter hidrofobik HDPE 0,22 µm untuk menjamin kemurnian dan konsistensi sintesis.

2.2 Fabrikasi Perovskit

Lapisan perovskit FAPbI₃ dideposisikan menggunakan metode pelapisan spin dua langkah pada substrat kaca ITO yang telah dilapisi lapisan SnO₂. Lapisan SnO₂, 45 diaplikasikan pada substrat ITO dan diputar pada 3000 rpm selama tiga puluh detik. Mengikuti langkah ini, lapisan tersebut dipanaskan pada suhu 185 °C selama 1 jam di atas *hotplate*. Deposisi lapisan perovskit pada lapisan SnO₂ dilakukan dengan menggunakan metode *spin coating* dua langkah. Awalnya, 40 mL larutan prekursor PbI₂/PEAI pada lapisan SnO₂ sambil diputar pada 2200 rpm selama 30 detik. Setelah itu, lapisan tersebut dipanaskan di atas *hot plate* pada suhu 100 °C selama 1 menit. Setelah lapisan komposit PbI₂ mendingin hingga mencapai suhu kamar, larutan prekursor FAI/MAI/MACl dilapiskan ke atasnya. Sekitar 0,8 mL larutan kedua ini ditetaskan ke lapisan PbI₂ dan diputar pada 2200 rpm selama 30 detik, menghasilkan perubahan warna langsung dari kuning menjadi hitam, yang menunjukkan pembentukan lapisan perovskit. Selanjutnya, lapisan tersebut dipanaskan di atas *hot plate* pada suhu 150 °C selama 15 menit. Proses sintesis ini dilakukan dalam *Glove Box* dengan kelembaban 20%-35%.

2.3 Metode Karakterisasi

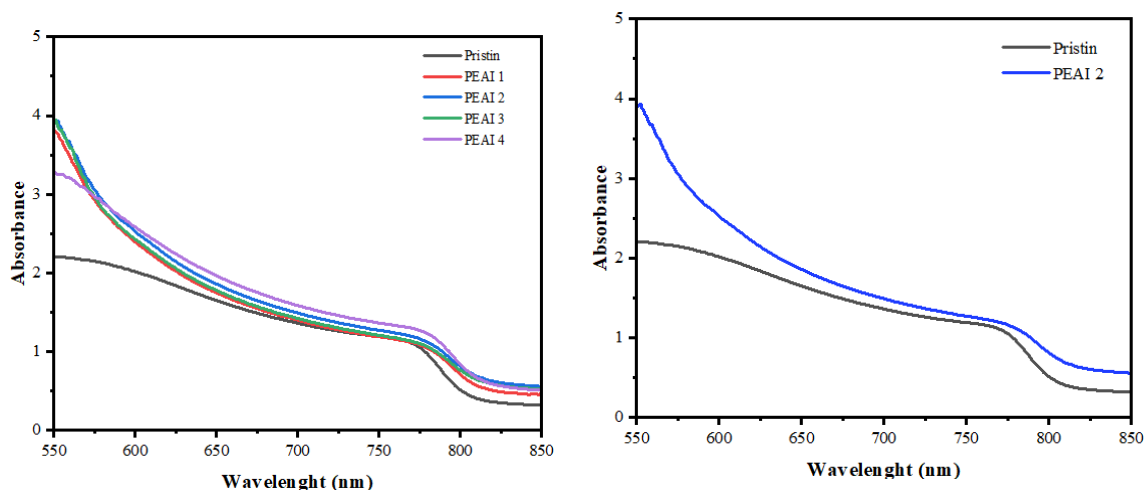
Pengukuran absorbansi optik dan energi gap perovskit FAPbI₃ murni dan yang didoping PEAi, spektrofotometer Hitachi U-3900H UV-vis spektrofotometer Hitachi U-3900H UV-vis yang diproduksi di Tokyo, Jepang, digunakan pada suhu kamar pada panjang gelombang kisaran 300 nm-900 nm. Untuk mengukur Morfologi dan bentuk permukaan sampel diperiksa dengan bidang Zeiss Supra 55VP *field emission scanning electron microscope* (FE-SEM) (Zeiss, Oberkochen, Jerman) pada 3,0 kV. Sebagai tambahan, kristalinitas fase perovskit kubik diidentifikasi dengan difraksi sinar-X Bruker D8 advance (XRD) (Bruker AXS GmbH, Karlsruhe, Jerman), iradiasi CuKα (λ 1/4 1,541 Å).

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Karkterisasi UV-Vis

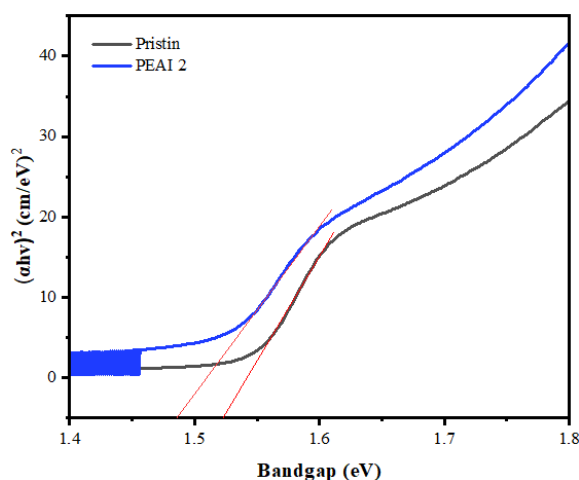
Analisis penyerapan UV-Vis dapat dilakukan untuk mengonfirmasi sifat optik dari lapisan perovskit FAPbI₃ yang terbentuk dengan cara mengukur kemampuan penyerapan lapisan perovskit

menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Gambar terlihat bahwa nilai absorbansi meningkat ketika sudah mendekati panjang gelombang 780 nm dan seterusnya ke arah lebih kecil lagi, puncaknya ketika panjang gelombang berada pada rentang 600-550 nm. Rentang panjang gelombang tersebut merupakan rentang panjang gelombang cahaya tampak.



Gambar 1 Grafik spektrum absorbansi terhadap panjang gelombang (a) hasil UV-Vis tanpa PEAi dan dengan konsentrasi PEAi 1 mg/ml, 2 mg/ml, 3 mg/ml, dan 4 mg/ml (b) lapisan perovskite tanpa PEAi dan Perovskit dengan konsentrasi yang optimal yaitu PEAi 2 mg/ml

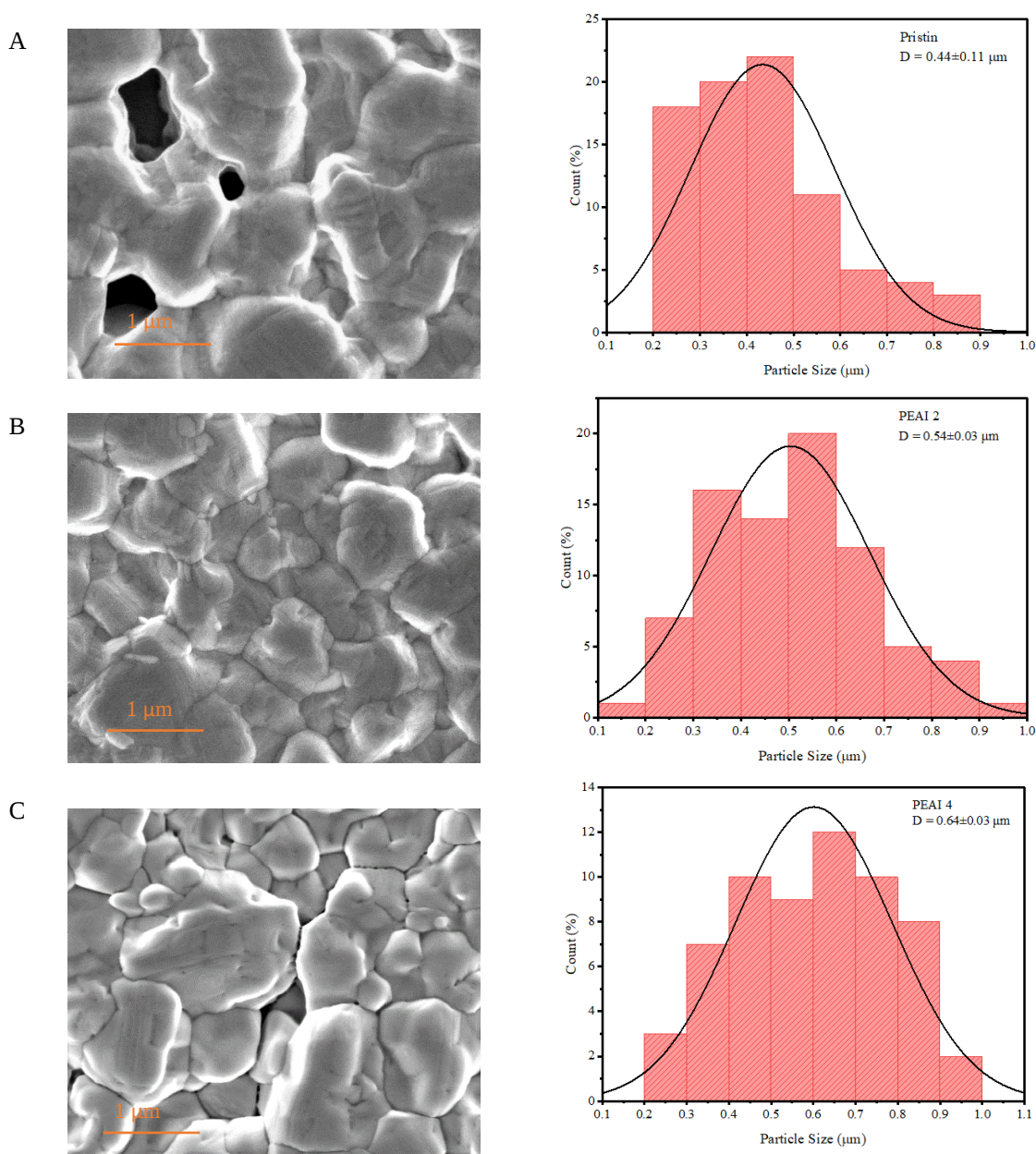
Berdasarkan Gambar 1, menunjukkan perbandingan spektrum absorbansi UV-Vis antara lapisan perovskite tanpa PEAi dan sampel yang telah di doping PEAi. Pada gambar tersebut menunjukkan perubahan nyata dalam pola penyerapan optik akibat penambahan PEAi. Terlihat penyerapan menunjukkan karakteristik khas FAPbI₃ yang dimulai pada panjang gelombang 760-790 nm, dan tidak mengalami pergeseran sejalan dengan temuan (Umar et al., 2024). Gambar 1 (a) semua lapisan penyerap cahaya perovskit menunjukkan peningkatan tajam penyerapan pada 780 nm, tetapi tepi penyerapan film perovskit yang diberi PEAi lebih curam dan memiliki intensitas penyerapan cahaya yang lebih tinggi dibandingkan dengan film perovskit murni. Hal ini menunjukkan bahwa film perovskit dengan CTAB telah meningkatkan kemampuan menyerap cahaya. Pada gambar 1 (b) menunjukkan intensitas penyerapan yang lebih tinggi daripada yang lain, yang menunjukkan kualitas lapisan perovskit yang lebih baik yaitu PEAi 2. Hal ini dapat diyakini bahwa kristalinitas yang lebih besar dari film perovskit yang diperlakukan dengan PEAi dan kualitas yang lebih tinggi dari film perovskit berkontribusi pada peningkatan intensitas penyerapan cahaya (Sha et al., 2023).



Gambar 2 Nilai Energi gap perovskite FAPbI₃ tanpa PEAi dan dengan konsentrasi optimal PEAi 2 mg/ml

Analisis spektrum serapan optik, celah energi optik lapisan perovskit FAPbI₃ pristin dan FAPbI₃ dengan variasi PEAi 2 dapat ditentukan menggunakan metode Tauc plot, di mana grafik $(\alpha h\nu)^2$ terhadap energi foton $(h\nu)$ dengan α adalah koefisien serap optik, h adalah konstanta Planck, dan ν adalah

frekuensi foton yang dikenal dengan kurva Tauc (Gambar 2). Grafik menunjukkan bahwa FAPbI₃ memiliki celah pita langsung, dengan menarik garis lurus pada bagian kemiringan dan horizontal kurva tauc, perpotongan kedua garis tersebut yang merupakan celah pita energi optik lapisan perovskit. Penelitian ini memiliki celah pita energi optik untuk lapisan perovskit FAPbI₃ kontrol adalah 1,53 eV, sedangkan FAPbI₃ dengan variasi PEAi 2 adalah 1,48 eV. Hasil ini menunjukkan peningkatan yang sedikit lebih baik dibandingkan dengan nilai energi gap sebelumnya, di mana pencampuran CTAB ke dalam perovskit FAPbI₃ menghasilkan nilai energi gap sebesar 1,53 eV, yang sama dengan nilai untuk FAPbI₃ murni dalam penelitian ini (Sha et al., 2023). konsisten dengan hasil yang telah dilaporkan sebelumnya yang menunjukkan bahwa variasi komposisi dan penambahan aditif dapat menurunkan energi gap akibat perubahan struktur kristal dan pengurangan cacat antarmuka (Wang et al., 2020).



Gambar 3 Morfologi lapisan perovskit FAPbI₃ untuk konsentrasi PEAi 0 mg/ml (A), 2 mg/ml (B) dan 4 mg/ml (C) dengan perbesaran 20.000 X

3.2 Karakterisasi morphology

Gambar FE-SEM menunjukkan perubahan morfologi yang signifikan pada perovskit FAPbI₃ setelah penambahan PEAi. Pada sampel tanpa PEAi, permukaan terlihat terdiri dari butiran kecil dengan retakan yang berpotensi menghambat transportasi muatan dan meningkatkan rekombinasi antarmuka. Penambahan PEAi pada konsentrasi 2 mg/mL dan 4 mg/mL menghasilkan morfologi butiran yang lebih besar, padat, dan seragam, menyerupai struktur khas perovskit yang menunjukkan peningkatan kompaksi dan stabilitas permukaan tanpa mengubah struktur dasar FAPbI₃ (Marinova et al., 2017). Interaksi PEAi dengan permukaan kristal diyakini mengarahkan pertumbuhan butiran secara lebih teratur (Hardi et al., 2023). Namun, pada konsentrasi 4 mg/mL, permukaan menjadi lebih kasar, muncul retakan, dan kekompakan butiran berkurang, menunjukkan bahwa konsentrasi PEAi yang terlalu tinggi dapat merusak struktur perovskite (Dahlan et al., 2023). Permukaan yang tidak seragam ini berpotensi menyebabkan kebocoran arus dan penurunan performa sel surya (Barrit et al., 2020). Oleh karena itu, doping PEAi 2 mg/mL menghasilkan struktur paling optimal, dengan kristalinitas tinggi dan morfologi padat, sehingga mendukung peningkatan sifat optoelektronik dan efisiensi perangkat (Bist et al., 2023).

Analisis menggunakan FE-SEM juga dilakukan untuk menentukan ukuran partikel. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa penambahan PEAi menyebabkan ukuran partikel perovskit FAPbI₃ meningkat. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh pengaruh PEAi terhadap dinamika pertumbuhan butiran selama proses sintesis. Ukuran partikel dari FAPbI₃ yang tidak dimodifikasi adalah $0,44 \pm 0,11 \mu\text{m}$. Sementara itu, dengan penambahan PEAi pada konsentrasi 2 dan 4, ukuran partikel berubah menjadi $0,54 \pm 0,03 \mu\text{m}$ dan $0,64 \pm 0,03 \mu\text{m}$, seperti yang tertera dalam Tabel 1.

Tabel 1 Ukuran partikel perovskit FAPbI₃-PEAI

Sampel perovskite	Ukuran partikel (μm)
FAPbI ₃ tanpa PEAi	$0,44 \pm 0,11$
FAPbI ₃ dengan PEAi 2 mg/ml	$0,54 \pm 0,03$
FAPbI ₃ dengan PEAi 4 mg/ml	$0,64 \pm 0,03$

Hasil-hasil ini konsisten dengan temuan sebelumnya, di mana penambahan doping PEAi terbukti dapat meningkatkan ukuran butiran perovskit. Hardi et al. (2023) melaporkan bahwa ukuran butiran MAPbI₃ meningkat dari 95 nm menjadi 117 nm setelah ditambahkan PEAi. Penemuan serupa juga dilaporkan oleh Kumar et al (2024), yang menunjukkan bahwa doping pyrrolidinium 1,75% pada FAPbI₃ meningkatkan ukuran butiran dari 769,8 nm menjadi 1452,2 nm. Hal ini menguatkan bahwa PEAi berperan dalam memperbesar dan mengatur ukuran butiran secara lebih terkontrol dibandingkan bahan lain, dengan distribusi ukuran yang lebih homogen. Berbeda dengan temuan Zuo et al (2023), yang menunjukkan pertumbuhan partikel tidak teratur, PEAi justru membantu menstabilkan proses nukleasi dan pertumbuhan kristal, sehingga menghasilkan ukuran partikel yang lebih besar dan seragam. Ukuran butiran yang lebih besar ini berpotensi meningkatkan stabilitas dan efisiensi sel surya, karena dapat mengurangi rekombinasi dan meningkatkan transportasi muatan (Liu et al., 2021).

IV. KESIMPULAN

Senyawa PEAi merupakan kandidat yang ideal untuk digunakan sebagai doping dalam lapisan perovskit FAPbI₃, karena terbukti mampu menurunkan nilai energi gap dari 1,53 eV menjadi 1,48 eV dengan penambahan PEAi sebanyak 2 mg/ml. Selain itu, peningkatan konsentrasi doping juga berkontribusi pada peningkatan ukuran partikel. Partikel yang dihasilkan menunjukkan permukaan butiran yang lebih halus dan terdefinisi dengan baik. Meskipun demikian, ketika konsentrasi PEAi ditingkatkan menjadi 4 mg/ml, permukaan partikel menjadi lebih kasar dan muncul retakan. Penambahan PEAi sebagai doping juga meningkatkan kemampuan penyerapan lapisan perovskit FAPbI₃, melebihi hasil yang dilaporkan dalam penelitian sebelumnya. Dengan doping PEAi pada konsentrasi 2 mg/ml, perovskit FAPbI₃ menunjukkan peningkatan sifat fisik yang optimal, menjadikannya sebagai harapan baru dalam pengembangan teknologi sel surya berbasis perovskit.

DAFTAR PUSTAKA

- Barrit, D., Cheng, P., Darabi, K., Tang, M. C., Smilgies, D. M., Liu, S., Anthopoulos, T. D., Zhao, K., & Amassian, A. (2020). Room-Temperature Partial Conversion of α -FAPbI₃ Perovskite Phase via PbI₂ Solvation Enables High-Performance Solar Cells. *Advanced Functional Materials*, 30(11). <https://doi.org/10.1002/adfm.201907442>
- Bist, A., Pant, B., Ojha, G. P., Acharya, J., Park, M., & Saud, P. S. (2023). Novel Materials in Perovskite Solar Cells: Efficiency, Stability, and Future Perspectives. *Nanomaterials*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/nano13111724>
- Dahlan, D., Dwimanda, V., Rosa, M., Ahdaliza, A. Z., Ali Umar, M. I., Mohammad Haniff, M. A. S., Harmadi, H., Sugihartono, I., & Umar, A. A. (2025). Enhancing structure and optoelectronic properties of ambient-processed FAPbI₃ perovskites through phenylethylammonium iodide doping. *Inorganic Chemistry Communications*, 176(December 2024), 114298. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2025.114298>
- Dahlan, D., Hardi, A. F., Sadikin, S. N., Umar, M. I. A., Hamzah, A. A., Fauzia, V., Ridwan, J., Maulidiyah, M., Nurdin, M., & Umar, A. A. (2023). Improving the optoelectrical properties of humid stable, hexamined perovskite lattice by phenetylammmonium cation additive. *Optical Materials*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2023.114489>
- Hardi, A. F., Dahyunir, D., Muldarisnur, M., Amrullah, Y., Sadikin, S. N., Ridwan, J., & Umar, A. A. (2023). Particle Size Improvement and Layer Absorption of Metil Halida MAPbI₃ Perovskite Doping Phenethylammonium Iodide (PEAI). *Ilmu Fisika | Universitas Andalas*, 16(1), 13–21. <https://doi.org/10.25077/jif.16.1.13-21.2024>
- Jeong, J., Kim, M., Seo, J., Lu, H., Ahlawat, P., Mishra, A., Yang, Y., Hope, M. A., Eickemeyer, F. T., Kim, M., Yoon, Y. J., Choi, I. W., Darwich, B. P., Choi, S. J., Jo, Y., Lee, J. H., Walker, B., Zakeeruddin, S. M., Emsley, L., ... Kim, J. Y. (2021). Pseudo-halide anion engineering for α -FAPbI₃ perovskite solar cells. *Nature*, 592(7854), 381–385. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03406-5>
- Kumar, A., Kaur, M., Atif, M., Kaur, J., Kaur, R., El-Meligy, M. A., Singh, P., & Alhadrawi, M. (2024). Crystalline engineering of FAPbI₃ via pyrrolidinium ionic liquid for stable perovskite solar cells with 21.72% efficiency. *RSC Advances*, 14(46), 34027–34036. <https://doi.org/10.1039/d4ra05864j>
- Liu, L., Lu, J., Wang, H., Cui, Z., Giorgi, G., Bai, Y., & Chen, Q. (2021). A-site phase segregation in mixed cation perovskite. In *Materials Reports: Energy* (Vol. 1, Nomor 4). KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.matre.2021.100064>
- Marinova, N., Valero, S., & Delgado, J. L. (2017). Organic and perovskite solar cells: Working principles, materials and interfaces. *Journal of Colloid and Interface Science*, 488, 373–389. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2016.11.021>
- Sha, N., Bala, H., Zhang, B., Zhang, W., An, X., Chen, D., & Zhao, Z. (2023). Surface passivation by CTAB toward highly efficient and stable perovskite solar cells. *Applied Surface Science*, 635. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2023.157643>
- Umar, A. A., Devkota, N. B., Dai, S., Ahmed, W., Li, X., Wang, J., Yu, A., & Zhan, Y. (2024). Enhancing the Phase Crystallinity of Buried Layer Perovskites through Organic Salt Molecule-Assisted Crystal Growth. *Solar RRL*, 8(16). <https://doi.org/10.1002/solr.202400380>
- Wang, H., Liu, H., Li, W., Zhu, L., & Chen, H. (2020). Inorganic perovskite solar cells based on carbon electrodes. *Nano Energy*, 77, 105160. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.105160>
- Zhang, Gu, H., Chen, S. C., & Zheng, Q. (2021). KF-Doped SnO₂ as an electron transport layer for efficient inorganic CsPbI₂Br perovskite solar cells with enhanced open-circuit voltages. *Journal of Materials Chemistry C*, 9(12), 4240–4247. <https://doi.org/10.1039/d1tc00277e>
- Zuo, W., Fu, W., Wang, K., Das, C., Byranvand, M. M., Wang, K. L., Chaudhary, A., Lim, J., Li, M., & Saliba, M. (2023). Crystallization dynamics and stabilization of FAPbI₃ single-phase perovskite. *Energy and Environmental Science*, 17(4), 1407–1415. <https://doi.org/10.1039/d3ee02404k>