

**PENGARUH LAJU *SPIN-COATING* TERHADAP SIFAT OPTIK LAPISAN FILM
TIPIS SnO₂ DAN EFISIENSI SEL SURYA PEROVSKIT**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Sains Program Studi Fisika kelompok bidang kajian Fisika Material



oleh:

**Imelda Rara Rahmawati
1906091**

PROGRAM STUDI FISIKA

FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA

2023

PENGARUH LAJU *SPIN-COATING* TERHADAP SIFAT OPTIK LAPISAN
FILM TIPIS SnO₂ DAN EFISIENSI SEL SURYA PEROVSKIT

Oleh
Imelda Rara Rahmawati

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika
Konsentrasi Fisika Material
FPMIPA UPI

© Imelda Rara Rahmawati
Universitas Pendidikan Indonesia
Juli 2023

Hak cipta dilindungi Undang-Undang
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan dicetak
ulang, difotokopi atau cara lainnya tanpa izin penulis.

LEMBAR PENGESAHAN

IMELDA RARA RAHMAWATI

**PENGARUH LAJU *SPIN-COATING* TERHADAP SIFAT OPTIK LAPISAN
FILM TIPIS SnO₂ DAN EFISIENSI SEL SURYA PEROVSKIT**

Disetujui dan disahkan oleh:

Pembimbing I



Dr. Andhy Setiawan, M.Si
NIP 197310131998021001

Pembimbing II



Dr. Eka Cahya Prima, M.T
NIP 199006262014041001

Mengetahui,
Ketua Program Studi Fisika



Dr. Endi Suhendi, M.Si
NIP 197905012003121001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “**PENGARUH LAJU SPIN-COATING TERHADAP SIFAT OPTIK LAPISAN FILM TIPIS SnO₂ DAN EFISIENSI SEL SURYA PEROVSKIT**” ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, Juli 2023

Yang membuat pernyataan



Imelda Rara Rahmawati

NIM.1906091

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Laju *Spin-coating* terhadap Sifat Optik Lapisan Film Tipis SnO₂ dan Efisiensi Sel Surya Perovskit”. Penyusunan skripsi ini tidak akan berjalan dengan lancar tanpa adanya dukungan dari berbagai pihak. Maka dari itu, penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada semua pihak atas bantuan serta dukungannya. Semoga semua pihak yang terlibat, mendapatkan yang terbaik dari Allah SWT.

Penulis juga menyadari bahwa dalam penyelesaian skripsi ini, masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat dan menambah wawasan bagi mahasiswa khususnya mahasiswa yang akan melakukan penelitian yang hampir serupa pada tahun yang akan datang.

Bandung, Juli 2023



Penulis,

UCAPAN TERIMAKASIH

Segala puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT. yang maha kuasa, karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian serta penulisan skripsi ini. Dengan segala kerendahan hati, segala hormat penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini banyak memperoleh do'a, bimbingan, bantuan, dukungan, serta motivasi dari berbagai pihak yang baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Maka pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga tercinta Ayah, Ibu, dan Adik-adik yang telah mendukung penulis dalam melaksanakan penelitian melalui do'a, dukungan dan motivasi dari segi finansial, yang tak pernah henti diberikan kepada penulis.
2. Bapak Dr. Andhy Setiawan, M.Si. selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah membimbing, memberikan saran, arahan, motivasi, dan dedikasinya kepada penulis selama penelitian berlangsung.
3. Bapak Dr. Eka Cahya Prima, M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah membimbing, memberikan saran, fasilitas, arahan, motivasi, dan dedikasinya kepada penulis selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Dadi Rusdiana, M.Si. selaku Penguji 1 yang telah memberi saran dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Endi Suhendi, M.Si. selaku Penguji 2 dan ketua program studi fisika FPMIPA UPI yang telah memberikan saran, bimbingan, motivasi serta dedikasinya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Ahmad Aminudin, M.Si. selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan do'a, semangat, motivasi, serta membimbing penulis selama penulis berkuliah di Program Studi Fisika Jenjang S-1 FPMIPA UPI.
7. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen beserta staff Tata Usaha Departemen Pendidikan Fisika yang telah membantu peneliti selama penelitian ini berlangsung.

8. Untuk Novaldi Dwi Putra yang telah memberikan semangat, do'a, motivasi, tempat bercerita, dan hiburan kepada penulis selama menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi ini.
9. Untuk Rekan-Rekan PUPITA: Adelia Nurulswarna, Annisa Turrahmah, Erlia Wiky R S, Erni Nuraini, Fanny Maulida, Putri Ekarani, Siti Maryam, dan Maysaroh yang telah berjuang bersama dan memberikan semangat dan motivasi selama perkuliahan di Fisika UPI.
10. Ayu Yustika, Nabila Zain Diyati, Iyan Fazriansyah dan Alif Haisam Arrasyid selaku sahabat yang telah memberikan dukungan, hiburan dan motivasi dalam penyelesaian penulisan skripsi.
11. Rekan-Rekan SSC : Annisa Turrahmah, Putri Ekarani, Siti Maryam, Hasna Aisyah, dan Farhan Aprilio selaku rekan seperjuangan penelitian.
12. Untuk Taufik Syah Mauludin selaku teman yang selalu membantu dan memberi dukungan selama perkuliahan.
13. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Fisika angkatan 2019 yang selalu memberikan dukungan serta motivasi selama perkuliahan hingga selesai perkuliahan.

ABSTRAK

PENGARUH LAJU *SPIN-COATING* TERHADAP SIFAT OPTIK LAPISAN FILM TIPIS SnO₂ DAN EFISIENSI SEL SURYA PEROVSKIT

oleh

Imelda Rara Rahmawati

NIM 1906091

(Program Studi Fisika)

Sel surya perovskit merupakan penemuan terbaru di bidang sel surya yang memiliki beberapa keunggulan dibandingkan sel surya berbasis silikon dan film tipis konvensional. Dalam perkembangannya, banyak peneliti yang memvariasikan laju *spin-coating* untuk meningkatkan kinerja sel surya perovskit. Penelitian ini difokuskan pada variasi laju *spin-coating* lapisan SnO₂ sebagai *Electron Transport Layer* (ETL) untuk mengetahui pengaruhnya pada sifat optik lapisan film tipis SnO₂ dan efisiensi sel surya perovskit. Karakterisasi sifat optik diperoleh dari hasil absorbansi, transmitansi serta *bandgap* menggunakan *UV-Vis Spectrophotometer*, sedangkan efisiensi pada sel surya perovskit meliputi J_{SC} , V_{OC} , dan FF dengan menggunakan *Standard Solar Simulator 1.5 AM filter 100 mW/cm²*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat korelasi linear positif terkait laju putaran *spin-coating* terhadap sifat optik dan efisiensi sel surya perovskit. Laju *spin-coating* tertinggi (5000 rpm) menghasilkan kinerja sel surya yang lebih baik, dengan transmitansi sebesar 93,13%, nilai *bandgap* pada rentang 3,49-3,55 eV, dan efisiensi sebesar 0,0000028% dengan densitas arus *short-circuit* (J_{SC}) 0,000053 mA/cm², tegangan *open-circuit* (V_{OC}) 0.066 V, dan FF 1,05 %. Semakin tinggi laju *spin-coating*, semakin transparan lapisan SnO₂ yang diperoleh sehingga foton yang diserap oleh Perovskit lebih besar yang meningkatkan transmitansi dan efisiensi sel surya.

Kata Kunci: ETL SnO₂, Laju *spin-coating*, Sel surya perovskit

ABSTRACT

EFFECT OF SPIN-COATING SPEED ON OPTICAL PROPERTIES OF SnO_2 THIN FILM LAYERS AND EFFICIENCY OF PEROVSKIT SOLAR CELLS

by

Imelda Rara Rahmawati

NIM 1906091

(Physics Study Program)

Perovskite solar cells are a recent discovery in the field of solar cells that have several advantages over conventional silicon-based and thin-film solar cells. In its development, many researchers vary the spin-coating speed to improve the performance of perovskite solar cells. This research is focused on variations in the spin-coating speed of the SnO_2 layer as an Electron Transport Layer to determine its effect on the optical properties of the SnO_2 thin film layer and the efficiency of perovskite solar cells. Characterization of optical properties is obtained from the results of absorbance, transmittance and bandgap using UV-Vis Spectrophotometer, while the efficiency of perovskite solar cells includes J_{SC} , V_{OC} , and FF using Standard Solar Simulator 1.5 AM filter 100 mW/cm^2 . The results showed that there is a positive linear correlation related to the spin-coating rotation speed to the optical properties and efficiency of perovskite solar cells. The highest spin-coating speed (5000 rpm) resulted in better solar cell performance, with transmittance of 93.13%, bandgap value in the range of 3.49-3.55 eV, and efficiency of 0.0000028% with short-circuit current density (J_{SC}) of 0.000053 mA/cm^2 , open-circuit voltage (V_{OC}) of 0.066 V, and FF of 1.05%. The higher the spin-coating rotation speed, the more transparent the SnO_2 layer obtained so that the photons absorbed by Perovskite are greater which increases the transmittance and efficiency of the solar cell.

Keywords: ETL SnO_2 , Spin-coating speed, Perovskit solar cell

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMAKASIH.....	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Struktur Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Sel Surya.....	6
2.2 Sel Surya Perovskit	7
2.2.1 Komponen sel surya perovskit	9
2.2.2 Prinsip kerja.....	16
2.3 Karakteristik optik lapisan SnO ₂	18
2.4 Efisiensi sel surya perovskit	20
BAB III METODE PENELITIAN	22
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	22
3.2 Metode Penelitian.....	22
3.3 Prosedur Penelitian.....	23
3.3.1 Preparasi Substrat PET	23
3.3.2 Preparasi Larutan SnO ₂	24
3.3.3 Pembuatan Film Tipis PET/SnO ₂	25

3.3.4	Preparasi Larutan Perovskit	27
3.3.5	Pembuatan film tipis PET/SnO ₂ /Perovskit	28
3.3.6	Preparasi larutan Spiro-OMeTAD	29
3.3.7	Pembuatan film tipis PET/SnO ₂ /Perovskit/spiro-OMeTAD.....	29
3.3.8	Preparasi larutan rGO (reduced Graphene Oxide)	30
3.3.9	Pembuatan film tipis PET/SnO ₂ /Perovskit/spiro-OMeTAD/rGO/PET.....	30
3.4	Karakterisasi	31
3.4.1	Karakterisasi sifat optik lapisan SnO ₂	31
3.4.2	Karakterisasi J-V sel surya perovskit	32
3.5	Analisis Data.....	33
3.5.1	Analisis Pengaruh Laju Putaran Terhadap Sifat Optik	33
3.5.2	Analisis Pengaruh Laju Putaran Terhadap Efisiensi Sel Surya.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		36
4.1	Pengaruh Laju Putaran Terhadap Sifat Optik	36
4.1.1	Absorbansi.....	36
4.1.2	Transmitansi	37
4.1.3	<i>Bandgap</i>	39
4.2	Pengaruh Laju Putaran Terhadap Efisiensi	41
BAB V SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI		46
5.1	Simpulan.....	46
5.2	Implikasi	46
5.3	Rekomendasi.....	47
DAFTAR PUSTAKA		48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Parameter sifat substrat PET (Cruz dkk., 2018).....	11
Tabel 2.2 Sifat optik lapisan transfer elektron (ETL) pada penelitian sebelumnya dengan laju <i>spin-coating</i> yang berbeda.....	20
Tabel 2.3 Efisiensi sel surya perovskite pada penelitian sebelumnya dengan laju <i>spin-coating</i> yang berbeda	21
Tabel 3.1 Variabel penelitian	22
Tabel 4.1 Nilai rata-rata absorbansi lapisan film tipis SnO ₂	37
Tabel 4.2 Nilai rata-rata transmitansi lapisan film tipis SnO ₂	38
Tabel 4.3 Nilai Energi Celah SnO ₂ yang diperoleh dari Kurva <i>Tauc Plot</i>	41
Tabel 4.4 Karakteristik J-V Sel Surya Perovskit	42
Tabel 4.5 Rangkuman karakteristik optik SnO ₂ dan efisiensi sel surya perovskit	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Generasi sel surya (Dambhare dkk., 2021).	7
Gambar 2.2 (a) Struktur perovskit kubik ABX ₃ ; (b) Sel satuan dari perovskit CH ₃ NH ₃ PbX ₃ (Giorgi dkk., 2013).....	8
Gambar 2.3 Struktur sandwich sel surya perovskit	9
Gambar 2.4 Diagram tingkat energi berbagai lapisan transpor elektron (Jiang dkk., 2018)	12
Gambar 2.5 Struktur kristal perovskit organik-anorganik halida dengan rumus umum ABX ₃ , dimana A dan B adalah kation logam/organik dan X adalah anion halogen.	13
Gambar 2.6 Struktur molekul Spiro-OMeTAD.....	15
Gambar 2.7 Struktur molekul GO dan RGO (H. Li & Bubeck, 2013).....	16
Gambar 2.8 Ilustrasi proses operasi sel surya perovskit	17
Gambar 3.1 Diagram alir langkah-langkah penelitian.....	23
Gambar 3.2 Proses pembersihan substrat PET, (a) Menyiapkan substrat yang akan dibersihkan, (b) Memasukan 5 ml IPA, (b) Memasukan 5 ml aseton, (d) Memasukan 5 ml air, (e) Pembersihan secara ultrasonik, (f) Penyinaran menggunakan UV-Led.	24
Gambar 3.3 Proses pembuatan larutan SnO ₂ , (a) Menyiapkan 100 ml distilled water, (b) Melarutkan 1,25 gr thiourea, (c) Melarutkan 0,275 gr tin chloride dihidrat (SnCl ₂ .2H ₂ O), (d) Meneteskan 2,5 µl acetic acid (98%), (e) Meneteskan 1,25 ml HCl (36,4%), (f) Diaduk dengan magnetic stirrer.	25
Gambar 3.4 Proses deposisi spin-coating.....	26
Gambar 3.5 Proses pembuatan film tipis SnO ₂ , (a) Solatif substrat yang akan digunakan, (b) Meneteskan 15 µl larutan SnO ₂ , (c) Spin-coating sampel, (d) Memasukan sampel ke oven, (e) sintering dengan suhu 120°C selama 60 menit. 27	
Gambar 3.6 Proses preparasi larutan perovskit, (a) Menimbang 190,9 mg Methilamonium Iodide (MAI), (b) Menimbang 553,2 mg Lead (II) Iodide (PbI ₂),	

(c) Mengambil 900 μ l DMSO, (d) Memasukan 100 μ l DMF, (e) Mengaduk dengan magnetic stirrer	28
Gambar 3.7 Proses pembuatan film tipis perovskit, (a) Meneteskan larutan $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ diatas PET/ SnO_2 , (b) Spin-coating sampel, (c) Sintering sample menggunakan oven.	29
Gambar 3.8 Preparasi larutan Spiro-OMeTAD, (a) Menimbang bahan Spiro-OMeTAD, (b) Menimbang bahan LiTFSI, (c) Mengambil 1 ml chlorobenzene, (d) Memasukan 28,8 μ l TBP, (e) Mengaduk menggunakan magnetic stirrer.	29
Gambar 3.9 Preparasi larutan Rgo, (a) Menyiapkan 50 mL air deionisasi, (b) Menimbang powder Rgo, (c) Mencampurkan 150 mg powder rGO dalam 50 mL air deionisasi, (d) Meletakkannya dalam ultrasonic washer selama 2 jam.	30
Gambar 3.10 Proses pembuatan sel surya perovskit fleksibel, (a) Memanaskan rGO yang sudah ditetesi pada substrat PET menggunakan hotplate, (b) Menempelkan tembaga pada sisi substrat rGO, (c) Memberikan resin pada sisi substrat yang dilapisi selotip, (d) Menempelkan film tipis rGO tepat pada luas penampang film tipis PET/ SnO_2 /Perovskit/spiro-OMeTAD, (e) Melakukan penyinaran UV-Led selama 60 s.	31
Gambar 3.11 Alat uji UV-Vis (UV-Vis spektrofotometer), (a) Tampak luar, (b) Tampak dalam, (c) Tempat untuk menyimpan sampel yang akan diuji.	32
Gambar 3.12 Alat uji J-V (ADCMT 6242 DC Voltage Current Source/Monitor), (a) Tampak luar, (b) Kabel penghubung katoda dan anoda, (c) Tempat untuk menyimpan sampel yang akan diuji.	33
Gambar 4.1 Lapisan film tipis SnO_2 dengan laju spin-coating yang berbeda pada setiap sampel, (a) 2000 rpm; (b) 3000 rpm; (c) 4000 rpm; (d) 5000 rpm.....	36
Gambar 4.2 Spektrum absorbansi (a) Larutan SnO_2 , dan (b) Lapisan SnO_2 untuk setiap sampel	37
Gambar 4.3 Spektrum Transmittansi SnO_2 dengan laju putaran spin-coating yang berbeda	38
Gambar 4.4 Trendline grafik korelasi laju spin-coating dengan transmitansi	39

Gambar 4.5 Bandgap dari SnO ₂ dengan laju spin-coating yang berbeda, (a) 2000 rpm, (b) 3000 rpm, (c) 4000 rpm, dan (d) 5000 rpm	40
Gambar 4.6 Tingkat energi sel surya perovskit	43
Gambar 4.7 Tauc plot bandgap perovskit	43
Gambar 4.8 Trendline grafik korelasi laju spin-coating dengan Efisiensi.....	44

DAFTAR PUSTAKA

- Altinkaya, C., Aydin, E., Ugur, E., Isikgor, F. H., Subbiah, A. S., De Bastiani, M., Liu, J., Babayigit, A., Allen, T. G., Laquai, F., Yildiz, A., & De Wolf, S. (2021). Tin Oxide Electron-Selective Layers for Efficient, Stable, and Scalable Perovskite Solar Cells. *Advanced Materials*, 33(15), 1–32. <https://doi.org/10.1002/adma.202005504>
- Anaya, M., Lozano, G., Calvo, M. E., & Míguez, H. (2017). ABX₃ Perovskites for Tandem Solar Cells. *Joule*, 1(4), 769–793. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2017.09.017>
- Assadi, M. K., Bakhoda, S., Saidur, R., & Hanaei, H. (2018). Recent progress in perovskite solar cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(May), 2812–2822. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.088>
- Bao, S., Wu, J., He, X., Tu, Y., Wang, S., Huang, M., & Lan, Z. (2017). Mesoporous Zn₂SnO₄ as effective electron transport materials for high-performance perovskite solar cells. *Electrochimica Acta*, 251, 307–315. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.08.083>
- Barkhouse, D. A. R., Gunawan, O., Gokmen, T., Todorov, T. K., & Mitzi, D. B. (2015). Yield predictions for photovoltaic power plants: empirical validation, recent advances and remaining uncertainties. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 20(1), 6–11. <https://doi.org/10.1002/pip>
- Burschka, J., Kessler, F., Nazeeruddin, M. K., & Grätzel, M. (2013). Co(III) Complexes as p-Dopants in Solid-State Dye-Sensitized Solar Cells. *Chemistry of Materials*, 25(15), 2986–2990. <https://doi.org/10.1021/cm400796u>
- Cappel, U. B., Daeneke, T., & Bach, U. (2012). Oxygen-induced doping of spiro-MeOTAD in solid-state dye-sensitized solar cells and its impact on device performance. *Nano Letters*, 12(9), 4925–4931. <https://doi.org/10.1021/nl302509q>
- Chaki, S. H., Joshi, H. J., Tailor, J. P., & Deshpande, M. P. (2017). Study of SnS₂

- thin film deposited by spin coating technique. *Materials Research Express*, 4(7). <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aa72b6>
- Chen, Y., Meng, Q., Zhang, L., Han, C., Gao, H., Zhang, Y., & Yan, H. (2019). SnO₂-based electron transporting layer materials for perovskite solar cells: A review of recent progress. *Journal of Energy Chemistry*, 35, 144–167. <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2018.11.011>
- Chopra, K. L., Paulson, P. D., & Dutta, V. (2004). Thin-film solar cells: An overview. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 12(2–3), 69–92. <https://doi.org/10.1002/pip.541>
- Cruz, S. M. F., Rocha, L. A., & Viana, J. C. (2018). Printing Technologies on Flexible Substrates for Printed Electronics. *Flexible Electronics*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.76161>
- Dahliya, D., Samsurizal, S., & Pasra, N. (2021). Efisiensi Panel Surya Kapasitas 100 Wp Akibat Pengaruh Suhu Dan Kecepatan Angin. *Sutet*, 11(2), 71–80. <https://doi.org/10.33322/sutet.v11i2.1551>
- Dambhare, M. V., Butey, B., & Moharil, S. V. (2021). Solar photovoltaic technology: A review of different types of solar cells and its future trends. *Journal of Physics: Conference Series*, 1913(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1913/1/012053>
- Demircan, G., Gurses, E. F., Acikgoz, A., Yalcin, S., & Aktas, B. (2020). Effects of spin coating parameters on stress, electrical and optical properties of multilayer ZnO thin film prepared by sol–gel. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 709(1), 61–69. <https://doi.org/10.1080/15421406.2020.1816009>
- Dong, J., Jia, J., Feng, X., Shi, B., Wu, Y., Zhang, Y., Wu, J., & Cao, B. (2021). Ligand exchange of SnO₂ effectively improving the efficiency of flexible perovskite solar cells. *Journal of Alloys and Compounds*, 883, 160827. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.160827>
- Elsaedy, H. I., Qasem, A., Yakout, H. A., & Mahmoud, M. (2021). The pivotal role of TiO₂ layer thickness in optimizing the performance of TiO₂/P-Si solar cell. *Journal of Alloys and Compounds*, 867.

<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.159150>

- Fraas, L. M. (2014). Low-cost solar electric power. *Low-Cost Solar Electric Power*, 9783319075, 1–181. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-07530-3>
- Giorgi, G., Fujisawa, J. I., Segawa, H., & Yamashita, K. (2013). Small photocarrier effective masses featuring ambipolar transport in methylammonium lead iodide perovskite: A density functional analysis. *Journal of Physical Chemistry Letters*, 4(24), 4213–4216. <https://doi.org/10.1021/jz4023865>
- Goetzberger, A., Luther, J., & Willeke, G. (2002). Solar cells: Past, present, future. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 74(1–4), 1–11. [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(02\)00042-9](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(02)00042-9)
- Green, M. A., Ho-Baillie, A., & Snaith, H. J. (2014). The emergence of perovskite solar cells. *Nature Photonics*, 8(7), 506–514. <https://doi.org/10.1038/nphoton.2014.134>
- Heo, J. H., Lee, D. S., Shin, D. H., & Im, S. H. (2019). Recent advancements in and perspectives on flexible hybrid perovskite solar cells. *Journal of Materials Chemistry A*, 7(3), 888–900. <https://doi.org/10.1039/c8ta09452g>
- Hu, Y., Niu, T., Liu, Y., Zhou, Y., Xia, Y., Ran, C., Wu, Z., Song, L., Müller-Buschbaum, P., Chen, Y., & Huang, W. (2021). Flexible Perovskite Solar Cells with High Power-Per-Weight: Progress, Application, and Perspectives. *ACS Energy Letters*, 6(8), 2917–2943. <https://doi.org/10.1021/acsenergylett.1c01193>
- Huang, C., Chen, J., Liu, Z., Chen, S., Qiu, W., Liu, C., Peng, Z., & Chen, J. (2021). Photovoltaic Performance Enhancement of All-Inorganic CsPbBr₃ Perovskite Solar Cells Using In₂S₃ as Electron Transport Layer via Facile Reflux-Condensation Process. *Physica Status Solidi (A) Applications and Materials Science*, 218(4). <https://doi.org/10.1002/pssa.202000665>
- Huang, C. W., Weng, H. M., Jiang, Y. L., & Ueng, H. Y. (2008). Optimum growth of ZnSe film by molecular beam deposition. *Vacuum*, 83(2), 313–318. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2008.06.004>
- Ionescu, C., Baracu, T., Vlad, G. E., Necula, H., & Badea, A. (2015). The historical

- evolution of the energy efficient buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 243–253. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.062>
- Jena, A. K., Kulkarni, A., & Miyasaka, T. (2019). Halide Perovskite Photovoltaics: Background, Status, and Future Prospects [Review-article]. *Chemical Reviews*, 119(5), 3036–3103. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00539>
- Jia, J., Wu, J., Dong, J., Fan, L., Huang, M., Lin, J., & Lan, Z. (2018). Cadmium sulfide as an efficient electron transport material for inverted planar perovskite solar cells. *Chemical Communications*, 54(25), 3170–3173. <https://doi.org/10.1039/c7cc09838c>
- Jiang, Q., Zhang, X., & You, J. (2018). SnO₂: A Wonderful Electron Transport Layer for Perovskite Solar Cells. *Small*, 14(31), 1–14. <https://doi.org/10.1002/sml.201801154>
- Jung, H. S., Han, G. S., Park, N. G., & Ko, M. J. (2019). Flexible Perovskite Solar Cells. *Joule*, 3(8), 1850–1880. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.07.023>
- Khan, A. F., Mehmood, M., Aslam, M., & Ashraf, M. (2010). Characteristics of electron beam evaporated nanocrystalline SnO₂ thin films annealed in air. *Applied Surface Science*, 256(7), 2252–2258. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2009.10.047>
- Kim, H., Gilmore, C. M., Piqué, A., Horwitz, J. S., Mattoussi, H., Murata, H., Kafafi, Z. H., & Chrisey, D. B. (1999). Electrical, optical, and structural properties of indium-tin-oxide thin films for organic light-emitting devices. *Journal of Applied Physics*, 86(11), 6451–6461. <https://doi.org/10.1063/1.371708>
- Kim, H., Lim, K. G., & Lee, T. W. (2016). Planar heterojunction organometal halide perovskite solar cells: Roles of interfacial layers. *Energy and Environmental Science*, 9(1), 12–30. <https://doi.org/10.1039/c5ee02194d>
- Kumar, V., & Gill, K. D. (n.d.). *Photometry: Colorimeter and Spectrophotometer* 5. 17–20.
- Lawrence, C. J., & Zhou, W. (1991). Spin coating of non-Newtonian fluids. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 39(2), 137–187.

[https://doi.org/10.1016/0377-0257\(91\)80010-H](https://doi.org/10.1016/0377-0257(91)80010-H)

- Li, C., Lu, X., Ding, W., Feng, L., Gao, Y., & Guo, Z. (2008). Formability of ABX₃ (X = F, Cl, Br, I) halide perovskites. *Acta Crystallographica Section B: Structural Science*, 64(6), 702–707. <https://doi.org/10.1107/S0108768108032734>
- Li, H., & Bubeck, C. (2013). *Photoreduction Processes of Graphene Oxide and Related Applications*. 21(3), 290–297. <https://doi.org/10.1007/s13233-013-1139-x>
- Ling, X., Yuan, J., Liu, D., Wang, Y., Zhang, Y., Chen, S., Wu, H., Jin, F., Wu, F., Shi, G., Tang, X., Zheng, J., Liu, S., Liu, Z., & Ma, W. (2017). Room-Temperature Processed Nb₂O₅ as the Electron-Transporting Layer for Efficient Planar Perovskite Solar Cells. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 9(27), 23181–23188. <https://doi.org/10.1021/acsami.7b05113>
- Liu, H., Hussain, S., Vikraman, D., Lee, J., Jaffery, S. H. A., Jung, J., Kim, H. S., & Kang, J. (2022). Fabrication of InGaZnO-SnO₂/PCBM hybrid electron transfer layer for high-performance Perovskite solar cell and X-ray detector. *Journal of Alloys and Compounds*, 906, 164399. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.164399>
- Liu, J., Xue, W., Jin, G., Zhai, Z., Lv, J., Hong, W., & Chen, Y. (2019). Preparation of tin oxide quantum dots in aqueous solution and applications in semiconductor gas sensors. *Nanomaterials*, 9(2), 2–11. <https://doi.org/10.3390/nano9020240>
- Lu, H., Ma, Y., Gu, B., Tian, W., & Li, L. (2015). Identifying the optimum thickness of electron transport layers for highly efficient perovskite planar solar cells. *Journal of Materials Chemistry A*, 3(32), 16445–16452. <https://doi.org/10.1039/c5ta03686k>
- Mahmood, K., Sarwar, S., & Mehran, M. T. (2017). Current status of electron transport layers in perovskite solar cells: materials and properties. *RSC Advances*, 7(28), 17044–17062. <https://doi.org/10.1039/c7ra00002b>
- 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>
- Meir, S., Stephanos, C., Geballe, T. H., & Mannhart, J. (2013). Highly-efficient thermoelectronic conversion of solar energy and heat into electric power. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 5(4), 1–16. <https://doi.org/10.1063/1.4817730>
- Mekhilef, S., Saidur, R., & Safari, A. (2011). A review on solar energy use in industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 1777–1790. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.12.018>
- Mishra, S., Ghosh, S., & Singh, T. (2021). Progress in Materials Development for Flexible Perovskite Solar Cells and Future Prospects. *ChemSusChem*, 14(2), 512–538. <https://doi.org/10.1002/cssc.202002095>
- Mohammad Bagher, A. (2015). Types of Solar Cells and Application. *American Journal of Optics and Photonics*, 3(5), 94. <https://doi.org/10.11648/j.ajop.20150305.17>
- Mora-Seró, I. (2018). How Do Perovskite Solar Cells Work? *Joule*, 2(4), 585–587. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.03.020>
- Mori, Y. (2006). Optical Properties. *Powder Technology Handbook, Third Edition*, 115–124. <https://doi.org/10.1201/9781439831885-12>
- Mouele, E. S. M., Ngqoloda, S., Pescetelli, S., Di Carlo, A., Dinu, M., Vladescu, A., Parau, A. C., Agresti, A., Braic, M., Arendse, C. J., & Petrik, L. F. (2020). Spin coating immobilisation of c-n-tio₂ co-doped nano catalyst on glass and application for photocatalysis or as electron transporting layer for perovskite solar cells. *Coatings*, 10(11), 1–24. <https://doi.org/10.3390/coatings10111029>
- Mukri, M., Kristianta, F. X., & Sutjahjono, H. (2015). Fabrikasi Prototype Touchscreen Dengan Lapisan Nano Film Seng Oksida Menggunakan Metode Spin Coating. *Jurnal ROTOR*, 8(2), 6–9.
- Noel, N. K., Stranks, S. D., Abate, A., Wehrenfennig, C., Guarnera, S., Haghighirad, A. A., Sadhanala, A., Eperon, G. E., Pathak, S. K., Johnston, M. B., Petrozza, A., Herz, L. M., & Snaith, H. J. (2014). Lead-free organic-

- inorganic tin halide perovskites for photovoltaic applications. *Energy and Environmental Science*, 7(9), 3061–3068. <https://doi.org/10.1039/c4ee01076k>
- Park, N. G. (2015). Perovskite solar cells: An emerging photovoltaic technology. *Materials Today*, 18(2), 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2014.07.007>
- Pastuszak, J., & Węgierek, P. (2022). Photovoltaic Cell Generations and Current Research Directions for Their Development. *Materials*, 15(16). <https://doi.org/10.3390/ma15165542>
- Pataya, S. A., Gareso, P. L., & Juarlin, E. (2016). Karakterisasi lapisan tipis titanium dioksida (TiO₂) yang ditumbuhkan dengan metode spin coating diatas substrat kaca. *Ophthalmology*, 104(11), 1785–1793.
- Patwardhan, S., Cao, D. H., Hatch, S., Farha, O. K., Hupp, J. T., Kanatzidis, M. G., & Schatz, G. C. (2015). Introducing Perovskite Solar Cells to Undergraduates. *Journal of Physical Chemistry Letters*, 6(2), 251–255. <https://doi.org/10.1021/jz502648y>
- Pendolino, F., & Armata, N. (n.d.). *Graphene Oxide in Environmental Remediation Process*.
- Peng, C., Su, H., Li, J., Duan, Q., Li, Q., Xiao, J., Ku, Z., Zhong, J., Li, W., Peng, Y., Huang, F., & Cheng, Y. (2021). Scalable, efficient and flexible perovskite solar cells with carbon film based electrode. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 230(April), 111226. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2021.111226>
- Piccolo, M., Aceto, M., & Vitorino, T. (2019). UV-Vis spectroscopy. *Physical Sciences Reviews*, 4(4), 1–14. <https://doi.org/10.1515/psr-2018-0008>
- Pido, R., Himran, S., & Mahmuddin. (2018). Analisa Pengaruh Pendinginan Sel Surya Terhadap Daya Keluaran dan Efisiensi. *Teknologi*, 19(1), 31–38. <https://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/1535466>
- Ren, X., & Jung, H. S. (2018). Recent progress in flexible perovskite solar cell development. *Journal of the Korean Ceramic Society*, 55(4), 325–336. <https://doi.org/10.4191/kcers.2018.55.4.09>
- Sahu, N., Parija, B., & Panigrahi, S. (2009). Fundamental understanding and

- modeling of spin coating process: A review. *Indian Journal of Physics*, 83(4), 493–502. <https://doi.org/10.1007/s12648-009-0009-z>
- Series, C. (2019). *Optimization of rotation speed for CuSCN hole transport layer in perovskite solar cell using spin coating*. *Optimization of rotation speed for CuSCN hole transport layer in perovskite solar cell using spin coating*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1195/1/012025>
- Setyawan, L. B. (2018). Perkembangan dan Prospek Sel Fotovoltaik Organik: Sebuah Telaah Ilmiah. *Techné : Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 17(02), 93–100. <https://doi.org/10.31358/techne.v17i02.175>
- Sharma, S., Jain, K. K., & Sharma, A. (2015). Solar Cells: In Research and Applications—A Review. *Materials Sciences and Applications*, 06(12), 1145–1155. <https://doi.org/10.4236/msa.2015.612113>
- Smith, A. T., LaChance, A. M., Zeng, S., Liu, B., & Sun, L. (2019). Synthesis, properties, and applications of graphene oxide/reduced graphene oxide and their nanocomposites. *Nano Materials Science*, 1(1), 31–47. <https://doi.org/10.1016/j.nanoms.2019.02.004>
- Sun, Q., Li, H., Gong, X., Ban, H., Shen, Y., & Wang, M. (2020). Interconnected SnO₂ Nanocrystals Electron Transport Layer for Highly Efficient Flexible Perovskite Solar Cells. *Solar RRL*, 4(2), 1–7. <https://doi.org/10.1002/solr.201900229>
- Tang, G., & Yan, F. (2021). Recent progress of flexible perovskite solar cells. *Nano Today*, 39, 101155. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2021.101155>
- Tarcan, R., Todor-Boer, O., Petrovai, I., Leordean, C., Astilean, S., & Botiz, I. (2020). Reduced graphene oxide today. *Journal of Materials Chemistry C*, 8(4), 1198–1224. <https://doi.org/10.1039/c9tc04916a>
- Vijayaraghavan, S. N., Wall, J., Li, L., Xing, G., Zhang, Q., & Yan, F. (2020). Low-temperature processed highly efficient hole transport layer free carbon-based planar perovskite solar cells with SnO₂ quantum dot electron transport layer. *Materials Today Physics*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.mtphys.2020.100204>
- Wang, C., Guan, L., Zhao, D., Yu, Y., Grice, C. R., Song, Z., Awni, R. A., Chen,

- J., Wang, J., Zhao, X., & Yan, Y. (2017). Water Vapor Treatment of Low-Temperature Deposited SnO₂ Electron Selective Layers for Efficient Flexible Perovskite Solar Cells. *ACS Energy Letters*, 2(9), 2118–2124. <https://doi.org/10.1021/acseenergylett.7b00644>
- Wang, J., Datta, K., Weijtens, C. H. L., Wienk, M. M., & Janssen, R. A. J. (2019). Insights into Fullerene Passivation of SnO₂ Electron Transport Layers in Perovskite Solar Cells. *Advanced Functional Materials*, 29(46). <https://doi.org/10.1002/adfm.201905883>
- Wang, Z., Shi, Z., Li, T., Chen, Y., & Huang, W. (2017). Stability of Perovskite Solar Cells: A Prospective on the Substitution of the A Cation and X Anion. *Angewandte Chemie - International Edition*, 56(5), 1190–1212. <https://doi.org/10.1002/anie.201603694>
- Wu, L., Fei, L. X., Yang, D. J., Wu, F., Peng, X. L., Zhu, Y. L., Song, S. P., & Xiang, Y. (2017). Effects of the electrode modification conditions on the performance of three-state electrochromic devices via spin-coating. *International Journal of Electrochemical Science*, 12(8), 7712–7727. <https://doi.org/10.20964/2017.08.80>
- Xiong, L., Guo, Y., Wen, J., Liu, H., Yang, G., Qin, P., & Fang, G. (2018). Review on the Application of SnO₂ in Perovskite Solar Cells. *Advanced Functional Materials*, 28(35), 1–18. <https://doi.org/10.1002/adfm.201802757>
- Xu, C., Liu, Z., Sun, Q., & Lee, E. C. (2021). Morphology control of SnO₂ layer by solvent engineering for efficient perovskite solar cells. *Solar Energy*, 214(November 2020), 280–287. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.12.002>
- Yang, D., Yang, R., Priya, S., & Liu, S. (Frank). (2019). Recent Advances in Flexible Perovskite Solar Cells: Fabrication and Applications. *Angewandte Chemie - International Edition*, 58(14), 4466–4483. <https://doi.org/10.1002/anie.201809781>
- Yang, D., Yang, R., Zhang, J., Yang, Z., Liu, S., & Li, C. (2015). High efficiency flexible perovskite solar cells using superior low temperature TiO₂. *Energy and Environmental Science*, 8(11), 3208–3214. <https://doi.org/10.1039/c5ee02155c>

- Yang, S., Fu, W., Zhang, Z., Chen, H., & Li, C. Z. (2017). Recent advances in perovskite solar cells: Efficiency, stability and lead-free perovskite. *Journal of Materials Chemistry A*, 5(23), 11462–11482. <https://doi.org/10.1039/c7ta00366h>
- Zhang, J., Zhang, W., Cheng, H. M., & Silva, S. R. P. (2020). Critical review of recent progress of flexible perovskite solar cells. *Materials Today*, 39(xx), 66–88. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2020.05.002>
- Zhu, Z., Bai, Y., Liu, X., Chueh, C. C., Yang, S., & Jen, A. K. Y. (2016). Enhanced Efficiency and Stability of Inverted Perovskite Solar Cells Using Highly Crystalline SnO₂ Nanocrystals as the Robust Electron-Transporting Layer. *Advanced Materials*, 28(30), 6478–6484. <https://doi.org/10.1002/adma.201600619>
- Zuo, C., Bolink, H. J., Han, H., Huang, J., Cahen, D., & Ding, L. (2016). Advances in perovskite solar cells. *Advanced Science*, 3(7), 1–16. <https://doi.org/10.1002/advs.201500324>