

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI TiO₂ MENGGUNAKAN METODE
SOLVOTERMAL DENGAN VARIASI PELARUT UNTUK APLIKASI SEL SURYA**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika Kelompok Bidang Kajian Fisika Material



Disusun oleh:

Aghisna Nuthfah Anshar

2001267

PROGRAM STUDI FISIKA

FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA

BANDUNG

2024

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI TiO₂ MENGGUNAKAN METODE
SOLVOTERMAL DENGAN VARIASI PELARUT UNTUK APLIKASI SEL SURYA**

(Skripsi ini merupakan bagian dari payung penelitian Prof. Dr. Budi Mulyanti,
M.Si.)

oleh

Aghisna Nuthfah Anshar

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
pada Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

© Aghisna Nuthfah Anshar

Universitas Pendidikan Indonesia

Januari 2024

Hak cipta dilindungi undang-undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,
dengan dicetak ulang, difotocopy, atau cara lainnya tanpa izin dari penulis

LEMBAR PENGESAHAN

AGHISNA NUTHFAH ANSHAR

SINTESIS DAN KARAKTERISASI TiO_2 MENGGUNAKAN METODE
SOLVOTERMAL DENGAN VARIASI PELARUT UNTUK APLIKASI SEL
SURYA

Disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

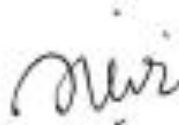
Pembimbing I



Prof. Dr. Budi Mulyanti, M.Si.

NIP. 196301091994022001

Pembimbing II

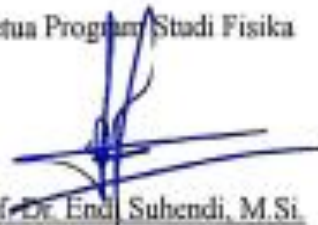


Prof. Dr. Lilik Hasanah, M.Si.

NIP. 197706162001122002

Mengetahui,

Ketua Program Studi Fisika



Prof. Dr. Endang Suhendi, M.Si.

NIP. 197905012003121001

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “**Sintesis dan Karakterisasi TiO₂ Menggunakan Metode Solvotermal dengan Variasi Pelarut Untuk Aplikasi Sel Surya**” 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, Januari 2024

Yang membuat pernyataan,

Aghisna Nuthfah Anshar

NIM. 2001267

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Penulis memanjatkan puja dan puji syukur atas kehadiran-Nya yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya sehingga skripsi dengan judul **“Sintesis dan Karakterisasi TiO₂ Menggunakan Metode Solvotermal dengan Variasi Pelarut Untuk Aplikasi Sel Surya”** dapat diselesaikan dengan baik. Solawat serta salam semoga tercurah selalu pada Nabi Muhammad SAW. Skripsi ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan sarjana strata – S1 pada program studi Fisika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi baik secara langsung maupun tidak langsung selama penyusunan skripsi ini hingga selesai. Terlepas dari semua itu, penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih terdapat kekurangan baik dari segi susunan kalimat maupun tata bahasa yang digunakan. Oleh karena itu, dengan tangan terbuka penulis menerima segala saran dan kritik dari pembaca agar dapat memperbaiki skripsi ini. Akhir kata penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan khususnya bagi penulis.

Bandung, Januari 2024

Penulis

Aghisna Nuthfah Anshar

NIM 2001267

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyelesaian skripsi ini, penulis tidak lepas dari bantuan, bimbingan, motivasi, dan semangat baik secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Budi Mulyanti, M.Si., dan Prof. Dr. Lilik Hasanah, M.Si., selaku pembimbing yang dengan penuh rasa tanggung jawab dan sabar memberikan arahan serta memberikan solusi atas segala permasalahan yang ada selama penulisan skripsi ini.
2. Prof. Dr. Endi Suhendi, M.Si., selaku ketua program studi Fisika
3. Chandra Wulandari, M.T. selaku asisten peneliti yang selalu telaten dan menemani dalam pengerjaan skripsi ini sampai dengan selesai.
4. Ayah (Didi Supriadi), ibu (Jumsari), adik (Astrid dan Annisa) serta kakak (Ariady) yang tidak henti memberikan restu, doa, dan dukungan baik secara materil dan non materil selama penulisan skripsi ini.
5. Teman seperjuangan Intan, Putra, Silva, Ahmad dan teman – teman Pondok Fauzan (Rifka, Irma, Dina, Sofi, dkk) yang selalu memberikan semangat dan saran atas keluhan yang ada.
6. Calon teman hidup Alfath Alfiananda yang selalu siap siaga direpotkan untuk mendengarkan cerita menarik dibalik penyusunan skripsi ini.
7. Kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses penelitian dan penulisan skripsi yang telah memberikan bantuan kecil maupun besar yang tidak dapat penulis tuliskan satu persatu.

ABSTRAK

Titanium dioksida atau TiO_2 merupakan material semikonduktor yang sering digunakan dalam aplikasi sel surya. TiO_2 memiliki sejumlah fungsi seperti sebagai fotoanoda pada DSSC, lapisan tipis dan ETL pada sel surya *Perovskite*. TiO_2 yang paling banyak digunakan pada aplikasi sel surya memiliki struktur fasa anatase, dengan ukuran partikel yang relatif kecil, dan tentunya memiliki energi celah yang optimal. Untuk mencapai karakteristik tersebut diperlukan modifikasi pada sintesis TiO_2 diantaranya dengan menggunakan variasi pelarut. Pelarut pada sintesis TiO_2 metode solvotermal dapat mempengaruhi pembentukan struktur fasa, morfologi partikel berupa ukuran partikel, dan sifat optik. Pada penelitian ini sintesis TiO_2 dilakukan menggunakan metode solvotermal dengan variasi jenis pelarut yaitu isopropanol, metanol, dan etanol serta variasi rasio pelarut antara isopropanol: etanol yaitu 1:2, 1:1, dan 2:1. Sintesis dilakukan dengan menggunakan TTIP sebagai prekursor dan *acetic acid*. Karakterisasi TiO_2 hasil sintesis dilakukan dengan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) untuk mengetahui struktur fasa kristalinitas, SEM untuk mengetahui morfologi, ukuran rata – rata partikel, serta sebaran distribusi ukuran partikel, karakterisasi menggunakan *Raman spectroscopy* untuk memperoleh mode vibrasi dari TiO_2 , serta karakterisasi lainnya menggunakan UV-Vis untuk memperoleh daerah serapan sinar dan energi celah pita.

Data XRD menunjukkan bahwa TiO_2 hasil sintesis dengan pelarut isopropanol, etanol, dan variasi rasio 1:2, 1:1, 2:1 memiliki struktur fasa anatase murni. Hasil karakterisasi menggunakan SEM menunjukkan TiO_2 dengan menggunakan pelarut isopropanol dan metanol memiliki bentuk bola sedangkan partikel TiO_2 dengan variasi lainnya memiliki bentuk sembarang tetapi mendekati bola. Ukuran rata-rata partikel TiO_2 dengan pelarut isopropanol, metanol, etanol serta rasio 1:2, 1:1, 2:1 secara berturut-turut yaitu $(5432,51 \pm 2052,68)$, $(1659,32 \pm 789,61)$, $(199,47 \pm 52,58)$, $(449,66 \pm 76,70)$, $(258,65 \pm 130,80)$, dan $(283,82 \pm 86,18)$ nm. Kemudian hasil karakterisasi menggunakan *Raman Spectroscopy* menunjukkan mode vibrasi TiO_2 yang dihasilkan bersesuaian dengan hasil karakterisasi XRD. Dari hasil karakterisasi terlihat penggunaan jenis pelarut pada proses sintesis memiliki pengaruh yang besar terhadap TiO_2 yang dihasilkan. Sifat setiap pelarut berupa

jumlah karbon dan sifat fisiokimia lainnya menjadi faktor penyebab pengaruh. Pada hasil karakterisasi UV-Vis menunjukkan besar energi celah pita tiap variasi pelarut isopropanol, metanol, etanol serta rasio 1:2, 1:1, 2:1 secara berturut-turut yaitu 3,75 eV, 4,0 eV, 1,5 eV, 3,25 eV, 3,0 eV dan 3,1 eV. Berdasarkan energi celah pitanya TiO₂ yang memiliki potensi digunakan pada aplikasi sel surya yaitu pada TiO₂ pelarut isopropanol, etanol dan semua variasi rasio pelarut. TiO₂ dengan pelarut etanol:isopropanol yaitu 1:2 memiliki potensi paling baik digunakan pada aplikasi sel surya karena besar energi celah pitanya telah banyak digunakan pada DSSC sebagai fotonoda, dan pada *Perovskite* sebagai ETL dan lapisan tipis.

Kata kunci: TiO₂, morfologi, solvotermal, variasi pelarut

ABSTRACT

Titanium dioxide or TiO₂ is a semiconductor material that is often used in solar cell applications. TiO₂ has a number of functions such as a photoanode in DSSCs, a thin layer and ETL in Perovskite solar cells. TiO₂, which is most widely used in solar cell applications, has an anatase phase structure, with a relatively small particle size, and of course has optimal gap energy. To achieve these characteristics, modifications are required in the TiO₂ synthesis, including using a variety of solvents. The solvent in the TiO₂ synthesis using the solvothermal method can influence the formation of the phase structure, particle morphology in the form of particle size, and optical properties. In this research, TiO₂ synthesis was carried out using the solvothermal method with a variety of solvent types, namely isopropanol, methanol, and ethanol and variations in the solvent ratio between isopropanol:ethanol, with ratio 1:2, 1:1, and 2:1. Synthesis was carried out using TTIP as a precursor and acetic acid. Characterization of the synthesized TiO₂ was carried out using X-Ray Diffraction (XRD) to determine the crystallinity phase structure, SEM to determine the morphology, average particle size, and particle size distribution, characterization using *Raman Spectroscopy* to obtain the vibration mode of TiO₂, and characterization others use UV-Vis to obtain the light absorption area and band gap energy.

XRD data shows that TiO₂ synthesized using isopropanol, ethanol and varying ratios of 1:2, 1:1, 2:1 has a pure anatase phase structure. The results of characterization using SEM show that TiO₂ using the solvents isopropanol and methanol has a spherical shape, while TiO₂ particles with other variations have an arbitrary shape but are close to spherical. The average size of TiO₂ particles with isopropanol, methanol, ethanol and ratios of 1:2, 1:1, 2:1 respectively are (5432.51 ± 2052.68), (1659.32 ± 789.61), (199.47 ± 52.58), (449.66 ± 76.70), (258.65 ± 130.80), and (283.82 ± 86.18) nm. Then the characterization results using *Raman Spectroscopy* show that the TiO₂ vibration mode produced is in accordance with the XRD characterization results. From the characterization results, it can be seen that the use of solvent in the synthesis process has a large influence on the TiO₂ produced. The nature of each solvent in the form of the amount of carbon and other physiochemical properties are factors causing the influence. The UV-Vis

characterization results show that the band gap energy for each variation of the solvent isopropanol, methanol, ethanol and the ratio 1:2, 1:1, 2:1 respectively is 3.75 eV, 4.0 eV, 1.5 eV, 3.25 eV, 3.0 eV and 3.1 eV. Based on the band gap energy, TiO₂ has the potential to be used in solar cell applications, namely in TiO₂ the solvents areopropanol, ethanol and all variations of solvent ratios. TiO₂ with ethanol:isopropanol solvent, namely 1:2, has the best potential to be used in solar cell applications because of its large band gap energy. It has been widely used in DSSC as a photonode, and in Perovskite as ETL and thin films.

Keywords: TiO₂, morphology, solvothermal, variety of solvent

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
2.1. Karakteristik Semikonduktor TiO ₂ sebagai Material Sel Surya.....	6
2.2. Sintesis TiO ₂ Menggunakan Metode Solvotermal	9
BAB III METODE PENELITIAN.....	15
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	15
3.2. Alat dan Bahan.....	15
3.2.1. Alat	15
3.2.2. Bahan.....	15

3.3. Tahapan Penelitian	15
3.4. Sintesis TiO ₂ Menggunakan Metode Solvotermal dengan Variasi Jenis Pelarut	16
3.5. Sintesis TiO ₂ Menggunakan Metode Solvotermal dengan Variasi Rasio Pelarut	17
3.6. Karakterisasi TiO ₂ Variasi Jenis Pelarut dan Variasi Rasio Pelarut	17
3.6.1. Karakterisasi Struktur dan Fasa Kristal TiO ₂	17
3.6.2. Karakterisasi Morfologi TiO ₂	19
3.6.3. Karakterisasi Sifat Optik TiO ₂	19
3.7. Teknik Analisis Data	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	21
4.1. Pengaruh Variasi Jenis Pelarut terhadap TiO ₂	21
4.1.1. Pengaruh Variasi Jenis Pelarut terhadap Struktur TiO ₂	21
4.1.2. Pengaruh Variasi Jenis Pelarut terhadap Morfologi TiO ₂	24
4.1.3. Pengaruh Variasi Jenis Pelarut terhadap Sifat Optik TiO ₂	28
4.2. Pengaruh Variasi Rasio Pelarut terhadap TiO ₂	31
4.2.1. Pengaruh Variasi Rasio Pelarut terhadap Struktur TiO ₂	31
4.2.2. Pengaruh Variasi Rasio Pelarut terhadap Morfologi TiO ₂	34
4.2.3. Pengaruh Variasi Rasio Pelarut terhadap Sifat Optik TiO ₂	36
BAB V PENUTUP	41
5.1. Kesimpulan	41
5.2. Rekomendasi	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur atom TiO ₂ (a). Anatase, (b). Rutil, dan (c). Brukit (Fan dkk., 2019)	8
Gambar 2. 2 Dikfatogram XRD TiO ₂ menggunakan variasi pelarut pada solvotermal (Chelbi dkk., 2020).....	11
Gambar 2. 3 TiO ₂ variasi pelarut (a) dan (b) 2-Butana; (c) dan (d) n-Dekana; (e) and (f) n-Heksana; (g) dan (h) Toluena; (i) dan (j) Etilen glikol (EG); (k) dan (l) Etanol. (Lu dkk., 2021).....	12
Gambar 2. 4 Spektrum UV-Vis TiO ₂ menggunakan variasi pelarut (a) n-butanol, (b) etanol, (c) metanol dan n-heksanol (Dudziak dkk., 2021)	12
Gambar 3. 1 Diagram tahapan penelitian.....	16
Gambar 3. 2 Perpindahan keadaan tiap jenis hamburan	18
Gambar 3. 3 Spektrum hamburan stokes dan anti stokes.....	19
Gambar 4.1 Perbandingan hasil karakterisasi XRD TiO ₂ pelarut isopropanol, metanol, etanol, dengan JCPDS 21-1272.....	21
Gambar 4. 2 Hasil karakterisasi TiO ₂ pada berbagai jenis pelarut menggunakan <i>Raman spectroscopy</i>	24
Gambar 4. 3 Hasil karakterisasi SEM pembesaran 10000x pada TiO ₂ dengan pelarut (a) isopropanol, (b) metanol, dan (c) etanol.....	25
Gambar 4. 4 Hasil karakterisasi SEM pada TiO ₂ dengan pelarut (a) isopropanol perbesaran 1000x, (b) metanol perbesaran 2500x, dan (c) etanol perbesaran 8000x	25
Gambar 4. 5 Grafik distribusi sebaran partikel TiO ₂ berbagai pelarut (a) isopropanol, (b) metanol, dan (c) etanol	27
Gambar 4. 6 Hubungan antara absorbansi terhadap panjang gelombang partikel TiO ₂ pada berbagai jenis pelarut	28
Gambar 4. 7 grafik Tauc Plot TiO ₂ variasi jenis pelarut	29

Gambar 4. 8 Perbandingan hasil karakterisasi XRD $\text{TiO}_2 - 1:2$, $\text{TiO}_2 - 1:1$, dan $\text{TiO}_2 - 2:1$, dengan JCPDS 21-1272	32
Gambar 4. 9 Hasil karakterisasi TiO_2 pada berbagai rasio pelarut menggunakan <i>Raman Spectroscopy</i>	33
Gambar 4. 10 Hasil karakterisasi SEM pembesaran 40000x pada $\text{TiO}_2 - 1:2$, $\text{TiO}_2 - 1:1$, dan $\text{TiO}_2 - 2:1$	34
Gambar 4. 11 Grafik distribusi sebaran ukuran partikel (a) $\text{TiO}_2 - 1:2$, (b) $\text{TiO}_2 - 1:1$, dan (c) $\text{TiO}_2 - 2:1$	36
Gambar 4. 12 Hubungan antara absorbansi terhadap panjang gelombang pada partikel TiO_2 pada berbagai jenis rasio pelarut	37
Gambar 4. 13 Energi celah pita TiO_2 pada berbagai rasio pelarut	38

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 FWHM untuk TiO ₂ dengan variasi jenis pelarut.....	22
Tabel 4. 2 Ukuran rata-rata partikel TiO ₂ menggunakan variasi jenis pelarut	26
Tabel 4. 3 Energi celah pita partikel TiO ₂ menggunakan variasi jenis pelarut	29
Tabel 4. 4 Daftar TiO ₂ dengan berbagai energi celah pita yang mendekati hasil TiO ₂ variasi jenis pelarut	30
Tabel 4. 5 FWHM untuk TiO ₂ dengan variasi rasio pelarut.....	33
Tabel 4. 6 Ukuran rata-rata partikel TiO ₂ menggunakan variasi rasio pelarut.....	35
Tabel 4. 7 Energi celah pita partikel TiO ₂ menggunakan variasi rasio pelarut	38
Tabel 4. 8 Daftar TiO ₂ dengan berbagai energi celah pita yang mendekati hasil TiO ₂ variasi rasio pelarut	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan volume TTIP	53
Lampiran 2 Alat dan Bahan.....	54
Lampiran 3 Hasil Karakterisasi XRD	56
Lampiran 4 Hasil Karakterisasi SEM	57
Lampiran 5 Perhitungan Energi Celah Pita Menggunakan Metode Tauc Plot	59
Lampiran 6 Dokumentasi Kegiatan	63

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, O., Rashid, A., Ahmed, M. W., Nasir, M. F., & Qasim, I. (2021). Performance evaluation of Au/p-CdTe/Cs₂TiI₆/n-TiO₂/ITO solar cell using SCAPS-1D. *Optical Materials*, 117, 111105. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2021.111105>
- Al-Attafi, K., Nattestad, A., Qutaish, H., Park, M.-S., Shrestha, L. K., Ariga, K., Dou, S. X., & Ho Kim, J. (2021). Solvothermally synthesized anatase TiO₂ nanoparticles for photoanodes in dye-sensitized solar cells. *Science and Technology of Advanced Materials*, 22(1), 100–112. <https://doi.org/10.1080/14686996.2021.1873059>
- Ananthakumar, S., Ramkumar, J., & Babu, S. M. (2016). Semiconductor nanoparticles sensitized TiO₂ nanotubes for high efficiency solar cell devices. Dalam *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 57, hlm. 1307–1321). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.129>
- Anwari, N. Safitri. (t.t.). *Sintesis dan karakterisasi TiO₂ pada penambahan surfaktan CTAB menggunakan metode solvotermal dengan variasi suhu.*
- Anwari, N. S., Aini, N., Hardian, A., Suendo, V., & Prasetyo, A. (2019). The Effect of Temperature to CTAB-assisted Solvothermal Synthesis of TiO₂. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 546(4). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/546/4/042003>
- Aritonang, A. B., & Syahbanu, I. (t.t.). SINTESIS TiO₂/Ti TERDOPING LOGAM Fe³⁺ MENGGUNAKAN METODE ANODISASI DENGAN BANTUAN SINAR TAMPAK. *Tahun*, 2020(3), 45–52.
- Arthi, G., Archana, J., Navaneethan, M., Ponnusamy, S., Hayakawa, Y., Muthamizhchelvan, C., & Ramaraj, S. G. (2023). Solvothermal synthesis of 3D hierarchical rutile TiO₂ nanostructures for efficient dye-sensitized solar cells. *Materials Letters*, 337, 133961. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2023.133961>

- Attouche, H., Rahmane, S., Hettal, S., & Kouidri, N. (2020). Precursor nature and molarities effect on the optical, structural, morphological, and electrical properties of TiO₂ thin films deposited by spray pyrolysis. *Optik*, 203. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2019.163985>
- Bellam, J. B., Kandikunta, G., Manupati, B., Debabrata, S., George, PP., Victor Vedanayakam, S., & Verma, VK. (2021). DC sputter deposited TiO₂ thin film on ITO/glass substrate for perovskite based solar cell application. *Materials Today: Proceedings*, 45, 3886–3890. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.281>
- Bian, Z., Zhu, J., & Li, H. (2016). Solvothermal alcoholysis synthesis of hierarchical TiO₂ with enhanced activity in environmental and energy photocatalysis. Dalam *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* (Vol. 28, hlm. 72–86). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2016.06.002>
- Cao, G., Yang, J., Zhu, J., Li, Y., Xi, X., Zheng, J., & Xiong, Y. (2020). A solvothermal route to prepare enhanced LiNi_{0.88}Co_{0.09}Al_{0.03}O₂ cathode material taking isopropyl alcohol as solvent. *Ionics*, 26(10), 5273–5278. <https://doi.org/10.1007/s11581-020-03701-7>
- Chelbi, S., Djouadi, D., Chelouche, A., & Touam, T. (2020). Structural and morphological properties of titanium dioxide-based sol-derived materials synthesized in different supercritical organic solvents. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 93(3), 527–534. <https://doi.org/10.1007/s10971-020-05217-y>
- Chen, Z., & Jaramillo, T. F. (2017). *The Use of UV-visible Spectroscopy to Measure the Band Gap of a Semiconductor*.
- Dahlan, D., & Fahyuan, H. D. (2014). PENGARUH BEBERAPA JENIS DYE ORGANIK TERHADAP EFISIENSI SEL SURYA DYE SENSITIZED SOLAR CELL. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 15(1), 74–79.
- Dolorosa, M. T., Nurjanah, Purwaningsih, S., Anwar, E., & Hidayat, T. (2019). Tyrosinase inhibitory activity of *Sargassum plagyophyllum* and *Eucheuma*

- cottonii methanol extracts. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 278(1), 012020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/278/1/012020>
- Dubey, R. S., Krishnamurthy, K. V., & Singh, S. (2019). Experimental studies of TiO₂ nanoparticles synthesized by sol-gel and solvothermal routes for DSSCs application. *Results in Physics*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.102390>
- Dudziak, S., Kowalkińska, M., Karczewski, J., Pisarek, M., Siuzdak, K., Kubiak, A., Siwińska-Ciesielczyk, K., & Zielińska-Jurek, A. (2021). Solvothermal growth of {0 0 1} exposed anatase nanosheets and their ability to mineralize organic pollutants. The effect of alcohol type and content on the nucleation and growth of TiO₂ nanostructures. *Applied Surface Science*, 563, 150360. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.150360>
- Du, Y., Niu, X., Li, W., Liu, J., & Li, J. (2022). Synthesis of High-Energy Faceted TiO₂ Nanocrystals with Enhanced Photocatalytic Performance for the Removal of Methyl Orange. *Catalysts*, 12(12), 1534. <https://doi.org/10.3390/catal12121534>
- Elfianti, W. A., Agus, L., & Eso, R. (2023). Pengaruh Penambahan Mangan Alam Terhadap Daya Absorpsi Cahaya Tampak Pada Keramik Tio₂ The Effect Of Added Natural Mangan On Visible Light Absorbtion Power In Tio₂ Ceramic. <https://journal.uho.ac.id/index.php/einsteins>
- Ezike, S. C. (2020). Effect of Concentration Variation on Optical and Structural Properties of TiO₂ Thin Films. *Journal of Modern Materials*, 7(1), 1–6. <https://doi.org/10.21467/jmm.7.1.1-6>
- Fan, X., Wang, J., Wu, K., Zhang, L., & Zhang, J. (2019). Isomerism in Titanium-Oxo Clusters: Molecular Anatase Model with Atomic Structure and Improved Photocatalytic Activity. *Angewandte Chemie - International Edition*, 58(5), 1320–1323. <https://doi.org/10.1002/anie.201809961>
- Guang, M., Xia, Y., Wang, D., Zeng, X.-F., Wang, J.-X., & Chen, J.-F. (2019). Controllable synthesis of transparent dispersions of monodisperse anatase-TiO₂ nanoparticles and nanorods. *Materials Chemistry and Physics*, 224, 100–106. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2018.12.012>

- Hossain, M. K., Mortuza, A. A., Sen, S. K., Basher, M. K., Ashraf, M. W., Tayyaba, S., Mia, M. N. H., & Uddin, M. J. (2018). A comparative study on the influence of pure anatase and Degussa-P25 TiO₂ nanomaterials on the structural and optical properties of dye sensitized solar cell (DSSC) photoanode. *Optik*, *171*, 507–516. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.05.032>
- Huang, Y.-C., Wu, S.-H., Hsiao, C.-H., Lee, A.-T., & Huang, M. H. (2020). Mild Synthesis of Size-Tunable CeO₂ Octahedra for Band Gap Variation. *Chemistry of Materials*, *32*(6), 2631–2638. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.0c00318>
- Hu, W., Yang, S., & Yang, S. (2020). Surface Modification of TiO₂ for Perovskite Solar Cells. *Trends in Chemistry*, *2*(2), 148–162. <https://doi.org/10.1016/j.trechm.2019.11.002>
- Julita, M., Shiddiq, M., & Khair, M. (2023). Penentuan Energi Celah Pita (Band Gap) Nanopartikel ZnO/Au Hasil Ablasi Laser dalam Cairan. *Chemistry Journal of Universitas Negeri Padang*, *12*(2), 71–74.
- Kasuma, S., & Ningsih, W. (t.t.). *SINTESIS ANORGANIK*.
- Kathirvel, S., Pedaballi, S., Su, C., Chen, B.-R., & Li, W.-R. (2020). Morphological control of TiO₂ nanocrystals by solvothermal synthesis for dye-sensitized solar cell applications. *Applied Surface Science*, *519*, 146082. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.146082>
- Keshari, A. K., Choudhary, P., & Shukla, V. K. (2022). Precursor induced evolution in single anatase phase synthesis of TiO₂ nanoparticles for water treatment and dye-sensitized solar cell. *Physica B: Condensed Matter*, *631*, 413716. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2022.413716>
- Khalid Hossain, M., Pervez, M. F., Mia, M. N. H., Tayyaba, S., Jalal Uddin, M., Ahamed, R., Khan, R. A., Hoq, M., Khan, M. A., & Ahmed, F. (2017). Annealing temperature effect on structural, morphological and optical parameters of mesoporous TiO₂ film photoanode for dye-sensitized solar cell application. *Materials Science-Poland*, *35*(4), 868–877. <https://doi.org/10.1515/msp-2017-0082>

- Khan, M. I., Sabir, M., Mustafa, G. M., Fatima, M., Mahmood, A., Abubshait, S. A., Abubshait, H. A., & Iqbal, M. (2020). 300 keV cobalt ions irradiations effect on the structural, morphological, optical and photovoltaic properties of Zn doped TiO₂ thin films based dye sensitized solar cells. *Ceramics International*, *46*(10), 16813–16819. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.03.256>
- Kianfar, E., Hajimirzaee, S., mousavian, S., & Mehr, A. S. (2020). Zeolite-based catalysts for methanol to gasoline process: A review. *Microchemical Journal*, *156*, 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.104822>
- Li, D., Yu, X., Guo, Z., Zhang, J., Wang, T., & Li, Y. (2023). Effects of Isopropanol Ratio at Different Excess Air Ratios on Combustion and Emissions characteristics of an isopropanol/gasoline dual-fuel combined injection SI engine. *Fuel*, *333*, 126507. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126507>
- Lu, X., Li, M., Hoang, S., Suib, S. L., & Gao, P.-X. (2021). Solvent effects on the heterogeneous growth of TiO₂ nanostructure arrays by solvothermal synthesis. *Catalysis Today*, *360*, 275–283. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2020.02.044>
- Madurai Ramakrishnan, V., N., M., P., B., Pitchaiya, S., Velauthapillai, D., & Pugazhendhi, A. (2020). Transformation of TiO₂ nanoparticles to nanotubes by simple solvothermal route and its performance as dye-sensitized solar cell (DSSC) photoanode. *International Journal of Hydrogen Energy*, *45*(31), 15441–15452. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.04.021>
- Madurai Ramakrishnan, V., Pitchaiya, S., Muthukumarasamy, N., Kvanme, K., Rajesh, G., Agilan, S., Pugazhendhi, A., & Velauthapillai, D. (2020). Performance of TiO₂ nanoparticles synthesized by microwave and solvothermal methods as photoanode in dye-sensitized solar cells (DSSC). *International Journal of Hydrogen Energy*, *45*(51), 27036–27046. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.07.018>
- Makula, P., Pacia, M., & Macyk, W. (2018). How To Correctly Determine the Band Gap Energy of Modified Semiconductor Photocatalysts Based on UV–Vis

Spectra. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 9(23), 6814–6817.
<https://doi.org/10.1021/acs.jpcelett.8b02892>

Malevu, T. D., Mwanemwa, B. S., Motloung, S. V., Tshabalala, K. G., & Ocaya, R. O. (2019). Effect of annealing temperature on nano-crystalline TiO₂ for solar cell applications. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 106, 127–132. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2018.10.028>

Mamaghani, A. H., Haghghat, F., & Lee, C. S. (2019a). Hydrothermal/solvothermal synthesis and treatment of TiO₂ for photocatalytic degradation of air pollutants: Preparation, characterization, properties, and performance. Dalam *Chemosphere* (Vol. 219, hlm. 804–825). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.029>

Mamaghani, A. H., Haghghat, F., & Lee, C.-S. (2019b). Hydrothermal/solvothermal synthesis and treatment of TiO₂ for photocatalytic degradation of air pollutants: Preparation, characterization, properties, and performance. *Chemosphere*, 219, 804–825. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.029>

Manuputty, M. Y., Xu, R., & Kraft, M. (2023). Effects of particle collection in a premixed stagnation flame synthesis of sub-stoichiometric TiO_x nanoparticles. *Chemical Engineering Science*, 265, 118155. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2022.118155>

Mbonyiryivuze, A., Zongo, S., Diallo, A., Bertrand, S., Minani, E., Lal Yadav, L., Mwakikunga, B., Dhlamini, S. M., Maaza, M., & Yadav, L. L. (2015). 2 Nanosciences African Network (NANOAFNET), iThemba LABS-National Research Foundation, 1 Old Faure road. *Physics and Materials Chemistry*, 3(1), 12–17. <https://doi.org/10.12691/pmc-3-1-3>

Meng, J., He, Q., Xu, L., Zhang, X., Liu, F., Wang, X., Li, Q., Xu, X., Zhang, G., Niu, C., Xiao, Z., Liu, Z., Zhu, Z., Zhao, Y., & Mai, L. (2019). Identification

- of Phase Control of Carbon-Confined Nb₂O₅ Nanoparticles toward High-Performance Lithium Storage. *Advanced Energy Materials*, 9(18). <https://doi.org/10.1002/aenm.201802695>
- Mo, L.-E., Li, Z.-Q., Ding, Y.-C., Gao, C., Hu, L.-H., Huang, Y., Hayat, T., Alsaedi, A., & Dai, S.-Y. (2019). Facile synthesis of TiO₂ microspheres via solvothermal alcoholysis method for high performance dye-sensitized solar cells. *Solar Energy*, 177, 448–454. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.10.013>
- Muharam, A., Sukmawati Arsyad, W., Usman, I., & Hidayat, R. (2018). FABRIKASI SEL SURYA TERSENSITISASI DYE (DYE SENSITIZED SOLAR CELL) DENGAN VARIASI LAPISAN SCATTERING. Dalam *Jurnal Material dan Energi Indonesia* (Vol. 08, Nomor 02).
- Neamen, D. A. (2011). *Semiconductor Physics and Devices* (4 ed.). Ragu Srinivasan.
- Noori, L., Hoseinpour, V., & Shariatinia, Z. (2022). Optimization of TiO₂ paste concentration employed as electron transport layers in fully ambient air processed perovskite solar cells with a low-cost architecture. *Ceramics International*, 48(1), 320–336. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.09.107>
- Nurosyid, F., Furqoni, L., Supriyanto, A., & Suryana, R. (2016). Effect of screen printing type on transparent TiO₂ layer as the working electrode of dye sensitized solar cell (DSSC) for solar windows applications. *Journal of Physics: Conference Series*, 776, 012011. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/776/1/012011>
- Park, K., Zhang, Q., Myers, D., & Cao, G. (2013). Charge transport properties in TiO₂ network with different particle sizes for dye sensitized solar cells. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 5(3), 1044–1052. <https://doi.org/10.1021/am302781b>
- Peng, T., Xu, J., & Chen, R. (2020). A novel multilayer brookite TiO₂ electrode for improved performance of pure brookite-based dye sensitized solar cells.

Chemical Physics Letters, 738, 136902.
<https://doi.org/10.1016/j.cplett.2019.136902>

Rai, S., Pandey, B. K., & Dwivedi, D. K. (2020). *Device simulation of low cost HTM free perovskite solar cell based on TiO₂ electron transport layer*. 140022. <https://doi.org/10.1063/5.0001230>

Ramakrishnan, V. M., Natarajan, M., Santhanam, A., Asokan, V., & Velauthapillai, D. (2018a). Size controlled synthesis of TiO₂ nanoparticles by modified solvothermal method towards effective photo catalytic and photovoltaic applications. *Materials Research Bulletin*, 97, 351–360. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2017.09.017>

Ramakrishnan, V. M., Natarajan, M., Santhanam, A., Asokan, V., & Velauthapillai, D. (2018b). Size controlled synthesis of TiO₂ nanoparticles by modified solvothermal method towards effective photo catalytic and photovoltaic applications. *Materials Research Bulletin*, 97, 351–360. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2017.09.017>

Sabeni, A., Fahdiran, R., & Sugihartono, I. (2022). *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2022 Seminar Nasional Fisika 2021 Program Studi Fisika dan Pendidikan Fisika, Fakultas MIPA*. <https://doi.org/10.21009/03.SNF2022>

Sagar, R., & Rao, A. (2021). Nanoscale TiO₂ and Ta₂O₅ as efficient antireflection coatings on commercial monocrystalline silicon solar cell. *Journal of Alloys and Compounds*, 862, 158464. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.158464>

Sanehira, Y., Shibayama, N., Numata, Y., Ikegami, M., & Miyasaka, T. (2020). Low-temperature Synthesized Nb-doped TiO₂ Electron Transport Layer enabling High-efficiency Perovskite Solar Cells by Band Alignment Tuning. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12(13), 15175–15182. <https://doi.org/10.1021/acsami.9b23485>

Shaikh, S. F., Mane, R. S., Min, B. K., Hwang, Y. J., & Joo, O. S. (2016). D-sorbitol-induced phase control of TiO₂ nanoparticles and its application for dye-sensitized solar cells. *Scientific Reports*, 6. <https://doi.org/10.1038/srep20103>

- Shamhari, N. M., Wee, B. S., Chin, S. F., & Kok, K. Y. (2018). Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles with small particle size distribution. *Acta Chimica Slovenica*, 65(3), 578–585. <https://doi.org/10.17344/acsi.2018.4213>
- Singh, R., & Dutta, S. (2018). A review on H₂ production through photocatalytic reactions using TiO₂/TiO₂-assisted catalysts. Dalam *Fuel* (Vol. 220, hlm. 607–620). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.02.068>
- Sumaya, M. U., Maria, K. H., Toma, F. T. Z., Zubair, M. A., & Chowdhury, M. T. (2023). Effect of stabilizer content in different solvents on the synthesis of ZnO nanoparticles using the chemical precipitation method. *Heliyon*, 9(10), e20871. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20871>
- Sun, M., Ly, I., Neri, W., Bentaleb, A., & Yuan, J. (2021). Systematic investigation of the influence of experimental conditions on TiO₂ nanosheet structures. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 610. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125716>
- Vafaei, S., Splingaire, L., Schnupf, U., Hisae, K., Hasegawa, D., Sugiura, T., & Manseki, K. (2020). Low temperature synthesis of anatase TiO₂ nanocrystals using an organic-inorganic gel precursor. *Powder Technology*, 368, 237–244. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.04.060>
- Wang, D., Hu, Y., Li, Y., Jia, X., Fang, Y., Zhang, Z., & Zhang, X. (2023). Self-Seeding Synthesis of Hierarchically Branched Rutile TiO₂ for High-Efficiency Dye-Sensitized Solar Cells. *ACS Omega*, 8(11), 9843–9853. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c06432>
- Wategaonkar, S. B., Pawar, R. P., Parale, V. G., Nade, D. P., Sargar, B. M., & Mane, R. K. (2020). Synthesis of rutile TiO₂ nanostructures by single step hydrothermal route and its characterization. *Materials Today: Proceedings*, 23, 444–451. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.065>
- Wu, Y. C., & Tai, Y. C. (2013). Effects of alcohol solvents on anatase TiO₂ nanocrystals prepared by microwave-assisted solvothermal method. *Journal of Nanoparticle Research*, 15(6). <https://doi.org/10.1007/s11051-013-1686-2>

- Xia, G., Liu, H., Zhao, X., Dong, X., Wang, S., & Li, X. (2019). Seeding-method-processed anatase TiO₂ film at low temperature for efficient planar perovskite solar cell. *Chemical Engineering Journal*, 370, 1111–1118. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.03.257>
- Xu, S., Sun, X., Gao, Y., Yue, M., Yue, Q., & Gao, B. (2017). Solvent effects on microstructures and properties of three-dimensional hierarchical TiO₂ microsphere structures synthesized via solvothermal approach. *Journal of Solid State Chemistry*, 253, 167–175. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2017.05.001>
- Yu, J., Wang, C., Yuan, Q., Yu, X., Wang, D., & Chen, Y. (2022). Ag-Modified Porous Perovskite-Type LaFeO₃ for Efficient Ethanol Detection. *Nanomaterials*, 12(10), 1768. <https://doi.org/10.3390/nano12101768>
- Zhang, Q., & Li, C. (2020). Effects of water-to-methanol ratio on the structural, optical and photocatalytic properties of titanium dioxide thin films prepared by mist chemical vapor deposition. *Catalysis Today*, 358, 172–176. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2019.11.019>