

Sintesis Nanopartikel ZnO menggunakan Prekursor ZnCl_2 dan Polimer Penstabil Tween 80 untuk Aplikasi Tabir Surya

Anisa Nurraeni Rozi, Horasdia Saragih*

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Advent Indonesia, Jl. Kolonel Masturi No. 288 Parongpong, Bandung Barat, Jawa Barat 40559, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 10 September 2025
Direvisi: 15 Oktober 2025
Diterima: 11 November 2025

Kata kunci:

Nanopartikel ZnO
Sintesis Nanopartikel
Tabir Surya

ABSTRAK

Nanopartikel ZnO adalah material semikonduktor dengan celah pita energi yang lebar (3,37 eV) sehingga sangat baik dijadikan sebagai bahan tabir surya karena unggul sebagai agen pelindung ultraviolet. Nanopartikel ZnO lebih unggul dibanding dengan bahan tabir surya konvensional yang lain karena tidak menyebabkan iritasi atau alergi pada kulit. Tujuan penelitian ini adalah mensintesis nanopartikel ZnO sebagai bahan tabir surya dengan menggunakan polimer penstabil tween 80, dan mengkaji secara komprehensif pengaruh konsentrasi Tween 80 terhadap karakteristik tabir surya nanopartikel ZnO yang dihasilkan. Nanopartikel ZnO disintesis menggunakan prekursor ZnCl_2 dan Tween 80 dengan sistem peralatan *Rotor Stator Homogenizer*. Empat ragam konsentrasi Tween 80 digunakan untuk melihat pengaruhnya terhadap karakteristik nanopartikel ZnO yang dihasilkan. Hasil yang diperoleh menunjukkan, diameter rata-rata, indeks polidispersitas, dan potensial zeta nanopartikel ZnO mengecil dengan konsentrasi Tween 80 yang digunakan. Transmittansi optiknya sangat tinggi di daerah spektrum sinar tampak dan sangat rendah di daerah spektrum sinar ultraviolet terutama untuk nanopartikel ZnO yang memiliki diameter rata-rata yang terkecil (11,6 nm). Artinya, transmisi sinar tampak dan serapan sinar ultravioletnya sangat baik. Selain itu, *absorption edge*-nya juga sangat tajam. Dari ketiga sifat ini menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO yang dihasilkan ini sangat cocok dan potensial untuk digunakan sebagai bahan tabir surya.

Keywords:

ZnO Nanoparticles
Nanoparticle Synthesis
Sunscreen

Penulis Korespondensi:

Horasdia Saragih
Email: horas@unai.edu

ZnO nanoparticles are semiconductor materials with a wide energy band gap (3.37 eV), making them excellent for use as sunscreen ingredients due to their superior ultraviolet protection properties. ZnO nanoparticles are superior to other conventional sunscreen materials because they do not cause skin irritation or allergies. The purpose of this study was to synthesize ZnO nanoparticles as a sunscreen material using Tween 80 stabilizing polymer and to comprehensively examine the effect of Tween 80 concentration on the characteristics of the resulting ZnO nanoparticle sunscreen. ZnO nanoparticles were synthesized using ZnCl_2 and Tween 80 precursors with a Rotor Stator Homogenizer equipment system. Four different concentrations of Tween 80 were used to observe their effect on the characteristics of the resulting ZnO nanoparticles. The results showed that the average diameter, polydispersity index, and zeta potential of ZnO nanoparticles decreased as the concentration of Tween 80 used increased. Their optical transmittance was very high in the visible light spectrum and very low in the ultraviolet spectrum, especially for ZnO nanoparticles with the smallest average diameter (11.6 nm). This means that the visible light transmission and ultraviolet light absorption are excellent. In addition, the absorption edge is also very sharp. These three properties indicate that the ZnO nanoparticles produced are very suitable and have great potential for use as a sunscreen material.

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Nanoteknologi telah membuka gerbang inovasi di berbagai bidang, termasuk pengembangan material baru dengan sifat unik yang tidak dapat dicapai pada skala makro. Nanopartikel, dengan ukurannya yang berada dalam rentang 1-200 nm, menunjukkan peningkatan rasio luas permukaan-volume yang signifikan, menghasilkan reaktivitas dan sifat optik, elektronik, serta katalitik yang *superior*. Di antara berbagai jenis nanopartikel, seng oksida (ZnO) adalah material semikonduktor dengan celah pita lebar (sekitar 3,37 eV) dan energi eksiton yang tinggi (60 meV) pada suhu kamar, menjadikannya kandidat yang sangat menarik untuk berbagai aplikasi, terutama sebagai tabir surya (Baskoutas, 2018). Keunggulan ZnO sebagai agen pelindung ultraviolet (UV) terletak pada kemampuannya untuk menyerap sinar ultraviolet A (UV-A) dan sinar ultraviolet B (UV-B) secara efisien (Ginzburg, et al., 2021), serta stabilitas kimianya yang baik dan toksisitasnya yang rendah dibandingkan dengan material penyerap UV lainnya (Jain & Bhise, 2022).

Penggunaan nanopartikel ZnO dalam formulasi tabir surya terus meningkat karena efektivitasnya yang lebih tinggi dibandingkan tabir surya konvensional yang seringkali mengandung bahan kimia organik yang berpotensi menyebabkan iritasi atau alergi (Sahu et al., 2020). Ukuran, indeks polidispersitas (PDI), dan potensial zeta nanopartikel ZnO merupakan parameter krusial yang secara langsung mempengaruhi efisiensi penyerapan UV dan stabilitas koloidnya dalam formulasi tabir surya. Ukuran nanopartikel yang lebih kecil umumnya menghasilkan penyerapan UV yang lebih baik karena peningkatan luas permukaan dan efek kuantum, namun juga dapat meningkatkan potensi aglomerasi (Sugiyana et al., 2018). Indeks polidispersitas (PDI) mencerminkan keseragaman ukuran partikel, di mana PDI yang rendah menunjukkan distribusi ukuran yang sempit dan homogen, yang diinginkan untuk kinerja yang konsisten. Potensial zeta, di sisi lain, memberikan informasi tentang stabilitas dispersi nanopartikel dalam medium cair dimana nilai potensial zeta yang tinggi, baik positif maupun negatif, menunjukkan stabilitas koloid yang lebih baik akibat tolakan elektrostatis antarpartikel, sehingga mencegah aglomerasi (Feng et al., 2020).

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh data empiris yang akurat mengenai peran krusial konsentrasi Tween 80 dalam mengontrol ukuran, indeks polidispersitas, dan potensial zeta nanopartikel ZnO, serta korelasinya dengan efektivitasnya dalam penyerapan sinar UV. Temuan ini akan berkontribusi pada pengembangan strategi sintesis yang lebih terkontrol untuk nanopartikel ZnO dengan karakteristik yang disesuaikan untuk aplikasi tabir surya, menjembatani kesenjangan pengetahuan tentang pengaruh sinergis antara konsentrasi polimer penstabil dan sifat optik nanopartikel.

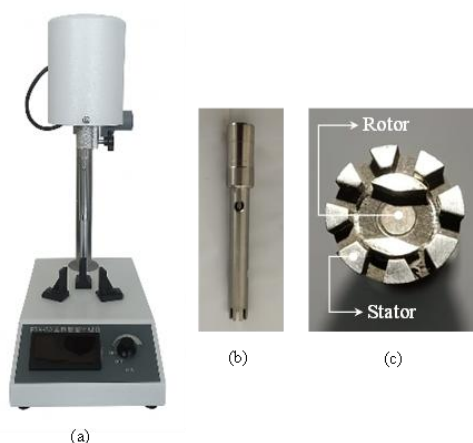
II. METODE

2.1 Persiapan Prekursor

Bahan ZnCl₂ dan Tween 80 disiapkan sebagai prekursor untuk mensintesis nanopartikel ZnO. Sebanyak 1 g serbuk ZnCl₂ dilarutkan ke dalam 100 mL air dengan cara diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Tween 80 dilarutkan ke dalam etanol dengan cara diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Empat ragam konsentrasi Tween 80 disiapkan, yaitu: 1 mL, 2 mL, 3 mL, dan 4 mL, yang masing-masing dilarutkan ke dalam 50 mL etanol. Dengan demikian ada satu ragam konsentrasi prekursor ZnCl₂ dan empat ragam konsentrasi prekursor tween 80 yang akan digunakan untuk mensintesis nanopartikel ZnO.

2.2 Sintesis Nanopartikel ZnO

Nanopartikel ZnO disintesis dengan menggunakan kedua jenis prekursor di atas dengan alat *Rotor Stator Homogenizer* merek High speed homogenizer FSH-2A (Gambar 1). Alat ini menggunakan suatu *rotor* yang diputar secara cepat di dalam suatu *stator* yang diam sehingga menghasilkan gaya geser (*shear force*) yang tinggi. Jarak antara rotor dan stator dibuat sangat sempit (0,1 mm). Celah yang sempit di antara *rotor* dan *stator* ini menyebabkan gaya hidrodinamik dan turbulensi yang ekstrem terjadi pada prekursor yang berada di dalamnya sehingga dapat menghancurkan partikel-partikel yang terdapat di dalam larutan prekursor menjadi partikel-partikel berukuran sangat kecil (berorde nanometer).

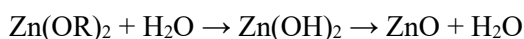
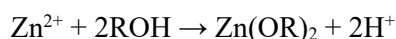


Gambar 1 (a) Rotor-Stator Homogenizer merek High Speed Homogenizer FSH-2A, (b) Batang rotor-stator, dan (c) Tampilan bagian ujung bawah rotor. Diameter rotor 10 mm, diameter stator 12 mm, dan jarak antara rotor dan stator 0,5 mm

Ketika larutan prekursor ZnCl₂ dan larutan prekursor Tween 80 dimasukkan ke dalam sistem peralatan *Rotor Stator Homogenizer*, campuran kedua larutan prekursor tersebut akan masuk ke dalam celah sempit antara *rotor* dan *stator*. Pada saat *rotor* diputar dengan laju rotasi yang sangat tinggi, di celah sempit tersebut terbentuk gaya geser yang tinggi, turbulensi, dan kavitasi mikro pada larutan prekursor yang mengakibatkan pecahnya partikel-partikel yang terdapat di dalam larutan prekursor menjadi partikel-partikel yang berukuran sangat kecil. Partikel-partikel hasil pecahan yang bersumber dari prekursor ZnCl₂ dan partikel-partikel hasil pecahan yang bersumber dari prekursor Tween 80 akan saling berinteraksi.

Pertama-tama larutan prekursor ZnCl₂ dihomogenisasi menggunakan *homogenizer* di atas dengan laju rotasi *rotor* 8000 rpm pada temperatur ruang. Pada saat prekursor ZnCl₂ dihomogenisasi, larutan prekursor tween 80 diteteskan secara perlahan dan teratur ke dalamnya dengan menggunakan suatu *syringe*. Setelah penetesan larutan prekursor Tween 80, homogenisasi tetap terus dilakukan selama 3 menit dengan laju rotasi *rotor* yang sama. Setelah itu, homogenisasi dilakukan kembali pada campuran kedua prekursor tersebut pada laju 10800 rpm selama 10 menit pada temperatur ruang. Lalu, larutan hasil homogenisasi ini dipanaskan pada temperatur 80 °C selama 60 menit secara radiatif menggunakan lampu sorot dengan daya 500 watt. Terakhir, larutan yang telah dipanaskan ini kembali dihomogenisasi pada temperatur ruang dengan laju rotasi rotor 10800 rpm selama 5 menit. Proses seperti ini dilakukan untuk setiap penggunaan masing-masing empat ragam konsentrasi prekursor tween 80 di atas.

Pada larutan prekursor ZnCl₂, molekul ZnCl₂ terdisosiasi menjadi ion-ion Zn²⁺ dan 2Cl⁻. Sedangkan molekul Tween 80 berperan mengenkapsulasi dan menstabilkan nanopartikel ZnO yang akan terbentuk. Pembentukan ZnO terjadi melalui reaksi alkoholisis (solvolisis):



Dengan R = CH₃CH₂ atau C₂H₅ dari etanol (C₂H₅OH).

Ion Zn²⁺ akan bereaksi dengan molekul pelarut etanol (ROH) dan air (H₂O) membentuk Zn(OH)₂, lalu terdehidrasi menjadi nuklei ZnO. Molekul Tween 80 yang bersifat amfifilik tersebar di antara nuklei-nuklei ZnO tersebut sehingga dengan cepat berdifusi ke antar-muka nanopartikel ZnO-air. Ketika berada di antar-muka nanopartikel-air, bagian hidrofobik dari molekul Tween 80 akan berikatan dengan ZnO dan bagian hidrofiliknya akan berikatan dengan air sehingga ukuran nanopartikel menjadi kecil dan stabil. Energi panas (80 °C selama 40 menit) diberikan untuk membantu reaksi solvolisis dan pembentukan nanopartikel ZnO yang stabil.

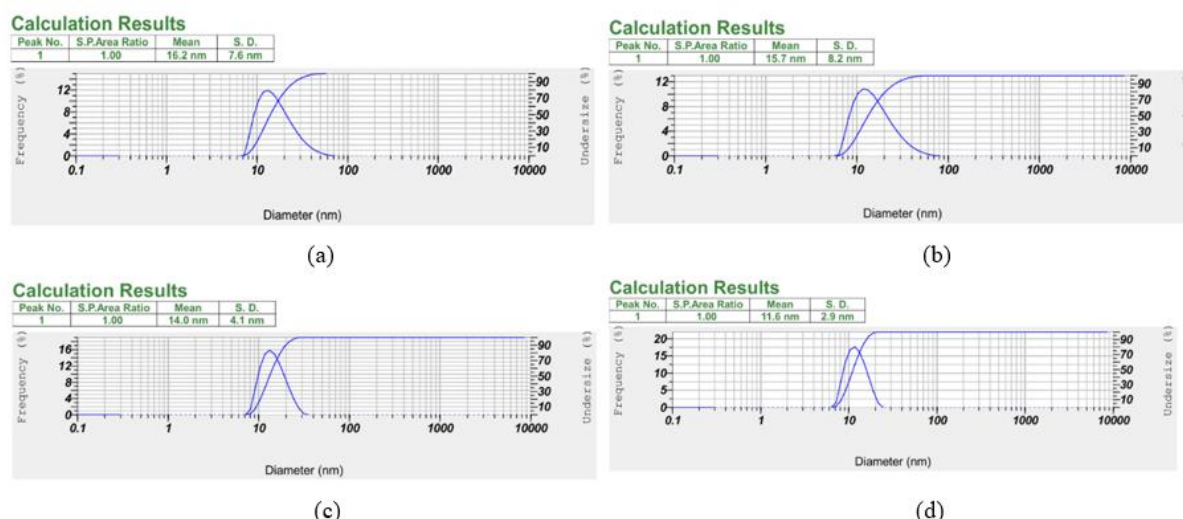
2.3 Karakterisasi

Nanopartikel ZnO yang telah disintesis, dikarakterisasi untuk mengetahui karakteristiknya. Karakterisasi yang dilakukan mencakup pengukuran: (1) distribusi diameter, (2) diameter rata-rata, (3) indeks polidispersitas, (4) mobilitas elektroforetik rata-rata, (5) potensial zeta, dan (6) sifat transmitansi optiknya pada panjang gelombang 200 nm sampai 700 nm. Pengukuran distribusi diameter, diameter rata-rata, indeks polidispersitas, mobilitas elektroforetik rata-rata dan potensial zeta dilakukan dengan menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) merek HORIBA SZ-100 (Japan). Pengukuran sifat transmitansi optiknya dilakukan dengan menggunakan sistem peralatan UV-Vis *Spectrophotometer* merek RIGOL Ultra – 3660 (RIGOL Technologies, Tiongkok, China).

III. HASIL DAN DISKUSI

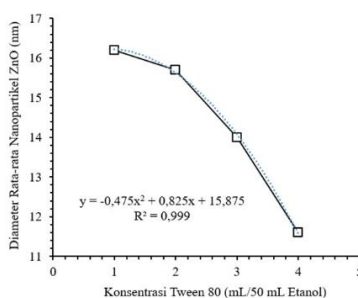
3.1 Pengaruh Konsentrasi Tween 80 terhadap Diameter Rata-rata Nanopartikel ZnO

Hasil pengukuran diameter rata-rata dan standar deviasi dari nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan 4 ragam konsentrasi Tween 80 di atas, ditunjukkan pada Gambar 2. Nanopartikel ZnO yang disintesis dengan menggunakan konsentrasi 1 mL, 2 mL, 3 mL, dan 4 mL Tween 80, yang masing-masing dilarutkan ke dalam 50 mL etanol, memiliki diameter rata-rata (dan standar deviasi) masing-masing: 16,2 nm (7,6 nm); 15,7 nm (8,2 nm); 14,0 nm (4,1 nm); dan 11,6 nm (2,9 nm). Dari hasil ini menunjukkan bahwa diameter rata-rata nanopartikel ZnO menjadi lebih kecil ketika konsentrasi Tween 80 yang digunakan, diperbesar.



Gambar 2 Diameter rata-rata dan standar deviasi nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan 4 ragam konsentrasi Tween 80: (a) 1 mL, (b) 2 mL, (c) 3 mL, dan (d) 4 mL, yang masing-masing dilarutkan ke dalam 50 mL etanol

Penambahan konsentrasi tween 80 dari 1 mL/50 mL etanol hingga 4 mL/50 mL etanol, diameter rata-rata nanopartikel ZnO mengalami penurunan yang signifikan, yaitu dari 16.2 nm menjadi 11.6 nm. Garfik hubungan penurunan ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik hubungan konsentrasi tween 80 yang digunakan mensintesis nanopartikel ZnO dengan besar diameter rata-rata nanopartikelnya

Penurunan diameter nanopartikel ZnO seiring dengan peningkatan konsentrasi tween 80 dapat dijelaskan oleh peran Tween 80 sebagai agen penstabil sterik. Tween 80, sebagai surfaktan non-ionik, memiliki struktur molekul amfifilik yang mana memiliki bagian hidrofilik dan hidrofobik. Bagian hidrofobiknya berinteraksi dengan permukaan nanopartikel ZnO yang polar, sementara bagian hidrofiliknya mengarah keluar ke medium air, membentuk lapisan pelindung di sekitar nanopartikel. Lapisan ini mencegah nanopartikel beragregasi, sehingga membatasi pertumbuhan ukurannya.

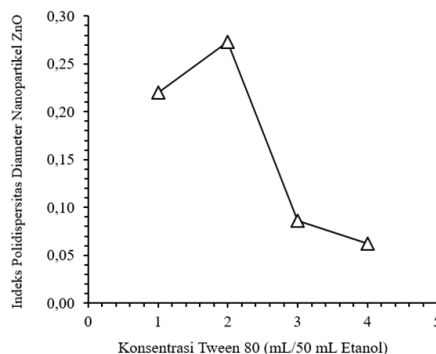
Pada konsentrasi Tween 80 yang rendah menyebabkan jumlah molekul-molekulnya terbatas untuk teradsorpsi pada permukaan nuklei ZnO yang terbentuk, sehingga laju koalisi antar nuklei ZnO yang belum terenkapsulasi tidak dapat tercegah, dan oleh karena itu pembentukan nanopartikel ZnO yang berukuran yang lebih besar, terjadi. Laju pertumbuhan nuklei ZnO menjadi nanopartikel ZnO yang berukuran lebih besar tidak dapat diimbangi oleh laju enkapsulasi oleh molekul-molekul Tween 80. Akhirnya, pada konsentrasi tween 80 yang lebih rendah, ukuran nanopartikel ZnO yang terbentuk menjadi lebih besar.

Sebaliknya, dengan menambah konsentrasi tween 80, densitas molekul-molekul Tween 80 yang teradsorpsi pada permukaan nuklei ZnO ataupun yang teradsorpsi pada nuklei ZnO yang sudah tumbuh menjadi nanopartikel ZnO, meningkat. Dengan meningkatkannya kerapatan molekul-molekul tween 80 ini dapat lebih cepat mengenkapsulasi permukaan-permukaan nanopartikel ZnO sehingga tidak bertumbuh menjadi lebih besar. Rantai polioksietilen yang hidrofilik pada molekul tween 80 yang menonjol keluar ke dalam medium air, membentuk lapisan tebal pada permukaan nanopartikel ZnO yang dienkapsulasinya dan menciptakan penghalang sterik yang kuat. Penghalang sterik ini secara efektif akan mencegah nanopartikel ZnO untuk saling bertumbukan, berkoalisi, atau membentuk agregat yang lebih besar. Semakin banyak molekul tween 80, semakin padat lapisan pelindung, dan semakin efisien penghambatan pertumbuhan nanopartikel, yang pada akhirnya menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa peningkatan konsistensi surfaktan menurunkan ukuran partikel (Hussain et al., 2014; Kiruthiga et al, 2019; Buşilă M, 2018).

3.2 Pengaruh Konsentrasi Tween 80 terhadap Indeks Polidispersitas (PDI) Diameter Nanopartikel ZnO

Nanopartikel ZnO yang monodispers (PDI rendah) akan memberikan kinerja yang lebih konsisten dan dapat diprediksi karena setiap partikel memiliki respons yang serupa terhadap sinar UV. Agregasi yang sering terjadi pada sampel dengan PDI tinggi dapat mengurangi luas permukaan aktif dan menghambat efisiensi penyerapan UV.

Indeks polidispersitas (PDI) dihitung dari diameter rata-rata (D_r) dan standar deviasi (SD), $PDI = (SD/D_r)^2$. Dari data yang telah diperoleh di atas (sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2), PDI dari ke empat nanopartikel ZnO hasil sintesis adalah (a) 0,22009; (b) 0,27279; (c) 0,08577; dan (d) 0,06250. Nilai PDI untuk masing-masing sampel ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Hubungan antara konsentrasi tween 80 dan indeks polidispersitas diameter nanopartikel ZnO. PDI menurun hingga konsentrasi optimum 3 mL, menunjukkan ukuran partikel yang lebih seragam, kemudian sedikit meningkat pada konsentrasi lebih tinggi

Nilai PDI hasil pengukuran menunjukkan tren penurunan seiring bertambahnya konsentrasi Tween 80 hingga titik optimum pada 3 mL/50 mL etanol, kemudian sedikit meningkat pada 4 mL.

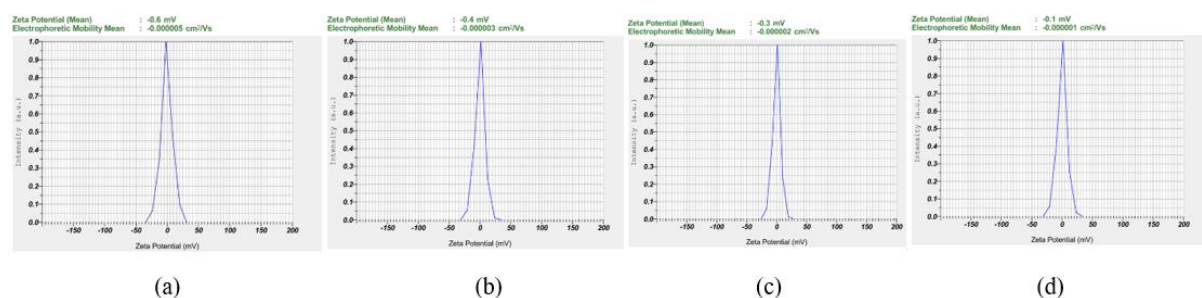
Penurunan ini menandakan bahwa penambahan Tween 80 mempersempit distribusi ukuran partikel karena peningkatan stabilitas sterik pada permukaan nanopartikel ZnO.

Peningkatan kembali nilai PDI pada konsentrasi 4 mL disebabkan oleh kelebihan molekul surfaktan yang membentuk misel di dalam larutan, sehingga sebagian partikel bergabung menjadi agregat kecil dan menurunkan homogenitas ukuran. Pertumbuhan partikel dapat berlangsung melalui mekanisme Ostwald *ripening* dan koalisi, namun peningkatan konsentrasi Tween 80 mampu menekankan kedua proses tersebut sehingga ukuran partikel lebih seragam. Ini memastikan bahwa setiap nuklei dan nanopartikel ZnO yang terbentuk, segera diselimuti oleh lapisan pelindung tween 80.

3.3 Pengaruh Konsentrasi Tween 80 terhadap Mobilitas Elektroporetik

Hasil pengukuran mobilitas elektroporetik nanopartikel ZnO pada variasi konsentrasi Tween 80 ditunjukkan Gambar 5. Pada bagian ini kita terlebih dahulu mendiskusikan pengaruh konsentrasi tween 80 terhadap mobilitas elektroporetik nanopartikel. Ketika konsentrasi tween 80 dinaikkan dari 1 mL menjadi 4 mL, nilai mobilitas elektroporetik nanopartikel ZnO berubah dari $-0,000005 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ menjadi $-0,000001 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ (nilai absolutnya menurun). Mobilitas elektroporetik menunjukkan kecepatan partikel bermuatan dalam medan listrik dan bergantung pada muatan permukaan, ukuran partikel, serta viskositas medium. Peningkatan konsentrasi Tween 80 meningkatkan viskositas dan menurunkan mobilitas karena pergerakan partikel menjadi lebih terhambat (Zhao et al., 2023).

Molekul Tween 80 teradsorpsi di permukaan nanopartikel ZnO melalui interaksi gugus hidroksilnya dengan permukaan ZnO. Lapisan ini menurunkan muatan efektif permukaan sehingga mobilitas elektroporetik menjadi lebih kecil (Gopmandal & Duval, 2022).



Gambar 5 Mobilitas Elektroporetik dan potensial zeta nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan 4 ragam konsentrasi Tween 80: (a) 1 mL, (b) 2 mL, (c) 3 mL, dan (d) 4 mL, yang masing-masing dilarutkan ke dalam 50 mL etanol

Peningkatan konsentrasi Tween 80 juga akan meningkatkan kerapatan molekul-molekulnya yang terikat di permukaan nanopartikel ZnO. Molekul Tween 80 dapat berinteraksi dengan permukaan nanopartikel ZnO melalui ikatan hidrogen antara gugus hidroksil permukaan ZnO dan gugus hidroksil pada molekul Tween 80 (Singh, et al., 2015). Adsorpsi molekul Tween 80 di permukaan nanopartikel ZnO akan membentuk lapisan penyalubung. Semakin tinggi konsentrasi Tween 80 di dalam larutan, semakin banyak molekul Tween 80 yang akan teradsorpsi di permukaan nanopartikel membentuk lapisan penyalubung yang lebih tebal dan padat. Lapisan penyalubung ini dapat menutupi muatan permukaan negatif nanopartikel ZnO, sehingga mengurangi nilai absolut potensial zeta-nya.

Lapisan surfaktan yang terbentuk di permukaan nanopartikel tidak hanya meningkatkan stabilitas koloid, tetapi juga menurunkan mobilitas elektroporetik akibat perubahan muatan dan viskositas medium (Klaseboer & Chan, 2020).

3.4 Pengaruh Konsentrasi Tween 80 terhadap Potensial Zeta

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5, besar potensial zeta nanopartikel ZnO juga dipengaruhi oleh konsentrasi tween 80 yang digunakan saat sintesis. Potensial zeta keempat nanopartikel ZnO yang dihasilkan memiliki nilai negatif dan tersebar dari -0,6 sampai -0,1 mV, semakin besar konsentrasi Tween 80 yang digunakan, semakin kecil nilai absolut potensial zeta nanopartikelnya.

Dari hasil potensial zeta yang terukur di atas terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi Tween 80 yang digunakan, nilai potensial zeta nanopartikel ZnO yang dihasilkan cenderung bergerak mendekati nol. Pengaruh konsentrasi Tween 80 terhadap potensial zeta nanopartikel ZnO dapat dijelaskan melalui kerapatan molekul tween 80 di permukaan nanopartikel ZnO.

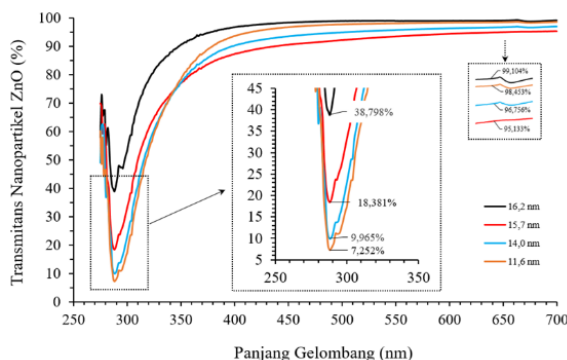
Pada saat konsentrasi Tween 80 yang digunakan rendah, yaitu: 1 mL/50 mL etanol, kerapatan molekul-molekul Tween 80 yang terikat (menyelimuti) di permukaan nanopartikel ZnO juga rendah. Karena Tween 80 adalah polimer non-ionik, maka tidak secara langsung berkontribusi pada muatan permukaan nanopartikel. Namun, struktur molekul Tween 80 memiliki gugus hidroksil (-OH) yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan gugus fungsional di permukaan nanopartikel ZnO sehingga dapat mempengaruhi besar potensial zetanya.

Peningkatan konsentrasi Tween 80 menyebabkan kerapatan adsorpsi surfaktan meningkat sehingga muatan permukaan semakin tertutupi. Lapisan sterik yang terbentuk mengurangi distribusi ion di sekitar partikel dan menurunkan nilai absolut potensial zeta (Chu, et al., 2023). Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi Tween 80 menurunkan nilai absolut potensial zeta.

3.5 Transmittansi UV-Vis Nanopartikel ZnO

Sifat optik nanopartikel ZnO dikaji melalui spektrum transmittansi pada rentang panjang gelombang 200 sampai 800 nm (*UV-Visible*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Spektrum transmittansi menunjukkan kemampuan partikel dalam meneruskan atau menyerap cahaya pada rentang panjang gelombang tertentu.

Dari hasil yang diperoleh di atas, nanopartikel ZnO memiliki karakteristik transmittansi yang tinggi terhadap spektrum cahaya tampak (*visible light*) (panjang gelombang dari 400 nm sampai 800 nm) dan menyerap sinar ultraviolet (UV) (panjang gelombang dari 200 nm sampai 350 nm). Sifat ini menunjukkan potensi nanopartikel ZnO sebagai bahan tabir surya yang mampu melindungi kulit dari sinar UV berbahaya tanpa meninggalkan bekas putih pada permukaan kulit.



Gambar 6. Transmittansi empat ragam ukuran diameter rata-rata nanopartikel ZnO (11,6 nm; 14,0 nm; 15,7 nm; dan 16,2 nm) pada panjang gelombang *ultraviolet-visible* (250 – 700 nm).

Berdasarkan Gambar 6, keempat sampel nanopartikel ZnO mentransmisikan cahaya tampak (400-700 nm) dengan baik dan menyerap kuat sinar ultraviolet (<400 nm). Penurunan transmittansi tajam di bawah 400 nm menunjukkan adanya tepi serapan (*absorption edge*) yang menghubungkan dengan energi *band gap* ZnO.

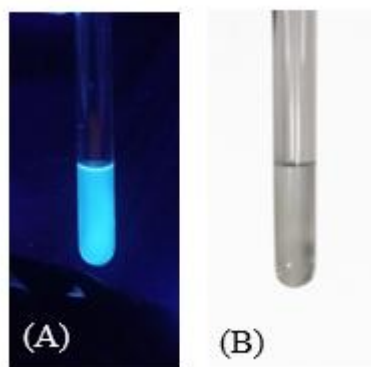
Pada daerah sinar tampak, semua sampel nanopartikel ZnO yang dihasilkan menunjukkan transmittansi yang sangat tinggi, mendekati 100%. Sampel dengan ukuran partikel terkecil (11,6 nm) menunjukkan transmittansi tertinggi, mencapai 99,104% pada panjang gelombang 650-700 nm. Sebaliknya, sampel dengan ukuran partikel terbesar (16,2 nm) memiliki transmittansi paling rendah, yaitu 95,133%. Tren ini menunjukkan bahwa transmittansi nanopartikel ZnO pada panjang gelombang sinar tampak berbanding terbalik dengan ukuran nanopartikel. Transmittansi yang tinggi di daerah *visibel* ini menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO bersifat transparan terhadap cahaya tampak.

Pada daerah *ultraviolet* (<400 nm), transmittansi menurun tajam yang menunjukkan efisiensi penyerapan UV oleh nanopartikel ZnO. Sampel berukuran 11,6 nm memiliki *absorption edge* lebih pendek (sekitar 290 nm) dibandingkan sampel 16,2 nm yang muncul pada panjang gelombang sedikit lebih panjang. Fenomena ini sesuai dengan efek *quantum confinement* pada material nanoskala (Bhandari et al., 2023).

Menurut Aldalbahi et al. (2020) *absorption edge* yang tajam umumnya dihasilkan oleh nanopartikel dengan distribusi ukuran sempit dan nilai indeks polidispersitas (PDI) rendah. Hal ini konsisten dengan hasil penelitian ini, di mana sampel berukuran 11,6 nm dan 14,0 nm memiliki

absorption edge paling curam serta PDI terkecil (0,0625 dan 0,08577), sedangkan sampel berukuran 15,7 nm dan 16,2 nm menunjukkan *absorption edge* yang lebih landai akibat distribusi ukuran yang lebih besar.

Selain dipengaruhi oleh indeks polidispersitas, kemiringan *absorption edge* juga dipengaruhi oleh jumlah cacat struktural pada permukaan nanopartikel dan proses rekombinasi elektron-lubang (Fan et al., 2025). Cacat tersebut menimbulkan keadaan energi dalam celah pita sehingga memperluas *absorption edge* ke panjang gelombang lebih besar dan menurunkan kemiringan kurva. Secara kualitatif, adanya cacat permukaan ini tampak dari emulsi luminens kekuningan nanopartikel ZnO saat disinari sinar ultraviolet (Gambar 7).



Gambar 7 Luminisens nanopartikel ZnO yang memiliki diameter rata-rata dan indeks polidispersitas: 16,2 nm dan 0,22009 (A) Ketika disinari dengan sinar ultraviolet dan (B) Potret nanopartikel yang sama juga disertakan tanpa disinari dengan sinar ultraviolet

Ketika nanopartikel ZnO disinari sinar UV, elektron tereksitasi dari pita valensi (VB) ke pita konduksi (CB) dan meninggalkan lubang, membentuk pasangan elektron-lubang. Namun, pada nanopartikel berukuran kecil, luas permukaan yang tinggi menyebabkan banyak ikatan tak sempurna yang membentuk cacat permukaan.

Cacat permukaan berupa oksigen interstisial menciptakan tingkat energi di dalam celah pita yang berperan sebagai perangkap bagi lubang. Ketika elektron dari pita konduksi berkombinasi dengan lubang yang terperangkap ini, energi yang dilepaskan lebih kecil dari pada energi celah pita, menghasilkan emisi pada panjang gelombang lebih besar (daerah dampak) berwarna kekuning-kuningan. Dengan demikian, luminensi kekuningan yang teramati menunjukkan adanya cacat permukaan berupa oksigen interstisial pada nanopartikel ZnO hasil sintesis.

Grafik sisipan pada gambar 6 memperlihatkan bahwa partikel berdiameter 11,6 nm memiliki transmitansi minimum 7,25%, sedangkan partikel 16,2 nm mencapai 38,80%, menunjukkan efisiensi penyerapan UV yang lebih tinggi pada partikel kecil. Hal ini selaras dengan teori bahwa ukuran partikel kecil dan PDI rendah meningkatkan luas permukaan spesifik sehingga memperkuat penyerapan UV (Xiong et al., 2018).

IV. KESIMPULAN

Dari hasil yang diperoleh seperti telah diuraikan di atas, nanopartikel ZnO telah berhasil disintesis menggunakan prekursor ZnCl₂ dan polimer penstabil Tween 80. Konsentrasi polimer Tween 80 yang digunakan saat mensintesis sangat menentukan karakteristik nanopartikel ZnO yang dihasilkan. Peningkatan konsentrasi Tween 80 secara signifikan menurunkan diameter rata-rata nanopartikel dan indeks polidispersitasnya. Peningkatan konsentrasi tween 80 menyebabkan penurunan nilai absolut mobilitas elektroporetik dan potensial zeta. Mobilitas elektroforetik nanopartikel ZnO yang dihasilkan dan potensial zetanya memiliki nilai negatif, yang artinya muatan permukaan nanopartikel ZnO adalah negatif. Potensial zeta nanopartikel dipengaruhi oleh diameter rata-ratanya. Semakin kecil diameter rata-rata nanopartikel, semakin kecil potensial zetanya. Hal ini disebabkan oleh lapisan Tween 80 lebih padat di permukaan nanopartikel, yang secara efektif menutupi muatan permukaan dan menekan lapisan ganda listrik, sehingga mengurangi nilai potensial zeta. Potensial zeta berperan untuk menjaga stabilitas

ukuran nanopartikel. Semua nanopartikel ZnO yang dihasilkan memiliki karakter mentransmisikan secara baik seluruh panjang gelombang sinar tampak dan menyerap secara baik sinar ultraviolet. Transmittansinya sangat tinggi di daerah sinar tampak dan serapannya sangat tajam terhadap sinar ultraviolet. Sifat ini sangat diperlukan ketika nanopartikel ini digunakan sebagai tabir surya. Temuan ini memberikan wawasan penting untuk mengoptimalkan formulasi material ZnO untuk aplikasi tabir surya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldalbahi, A., Alterary, S., Almoghim, R. A., Awad, M. A., Aldosari, N. S., Alghannam, S. F., Alrashed, R. A. (2020). Greener Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles: Characterization and Multifaceted Applications. *Molecules*, 25(18), 4198. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules25184198>
- Baskoutas, S. (2018). Special Issue: Zinc Oxide Nanostructures: Synthesis and Characterization. *Materials*, 11(6), 873. doi: <https://doi.org/10.3390/ma11060873>
- Bhandari, K. P., Sapkota, D. R., Jamarakattel, M. K., Stillion, Q., & Collins, R. W. (2023). Zinc Oxide Nanoparticles-Solution-Based Synthesis and Characterizations. *Journal of Nanomaterials*, 13(11), 1795. doi: <https://doi.org/10.3390/nano13111795>
- Brus, L. E. (1983). A Simple Model for The Ionization Potential, Electron Affinity, and Aqueous Redox Potential of Small Semiconductor Crystallites. *J. Chem. Phys.*, 78, 5566-5571. doi: <https://doi.org/10.1063/1.445676>
- Buşilă, M. (2018). ZnO Nanoparticles: Green Synthesis, Properties and Applications. *Multimedia Systems*, 41(3), 25-29. doi: <https://doi.org/10.35219/MMS.2018.3.04>
- Chu, B., Biriukov, D., Bischoff, M., Predota, M., Sylvie, R., & Marchioro, A. (2023). Evolution of the electrical double layer with electrolyte concentration probed by second harmonic scattering. *Royal Society of Chemistry*, 246, 407-425. doi: <https://doi.org/10.1039/D3FD00036B>
- Fan, B., Nan, F., Zhou, L., Lin, Y., & Liu, Y. (2025). Structural Transformation of ZnO Quantum Dots To ZnO/ZnS Core-Shell Quantum Dots and Fluorescence Color Shift From Yellow To Blue Induced By Interfacial Sulfurization. *Journal of Applied Physics*, 137, 125101. doi: <https://doi.org/10.1063/50251672>
- Feng, Y., Kilker, S. R., & Lee, Y. (2020). Surface charge (zeta-potential) of nanoencapsulated food ingredients. In *Characterization of Nanoencapsulated food Ingredients*, 213–241. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815667-4.00007-9>
- Ginzburg, A. L., Blackburn, R. S., Santillan, C., Troung, L., Tanguay, R. L., & Hutchison, J. E. (2021). Zinc Oxide-Induced Changes to Sunscreen Ingredient Efficacy and Toxicity Under UV Irradiation. *Photochem Photobiol Sci*, 20(10), 1273-1285. doi: [10.1007/s43630-021-00101-2](https://doi.org/10.1007/s43630-021-00101-2)
- Gopmandal, P. P., & Duval, J. F. (2022). Electrostatics and Electrophoresis of Engineered Nanoparticles and Particulate Environmental Contaminants: Beyond Zeta Potential-Based formulation. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 60, 10165. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2022.101605>
- Hussain, M. Z., Ru, K., Ali, R., & Khan, Y. (2014). Optical properties of laser ablated ZnO nanoparticles prepared with Tween-80. *Materials Letters*, 122, 147-150. doi: <https://doi.org/10.1016/J.MATLET.2014.02.022>
- Irede, E. L., Awoyemi, R. F., Owolabi, B., Aworinde, O. R., Kajola, R. O., Hazeez, A., . . . Ifjen, I. H. (2024). Cutting-Edge Developments in Zinc Oxide Nanoparticles: Synthesis and Applications For Enhanced Antimicrobial and Healthcare Solutions. *Royal Society Of Chemistry*, 14, 20992-21034. doi: [10.1039/D4RA02452D](https://doi.org/10.1039/D4RA02452D)
- Jain, A., & Bhise, K. (2022). A Review on Inorganic UV Filter Zinc Oxide Against Keratinocyte Cancer and Photoaging. *International Journal of Advanced Chemistry Research*, 4(2), 332-336. doi: [10.33545/26646781.2022.v4.i2e.119](https://doi.org/10.33545/26646781.2022.v4.i2e.119)
- Kiruthiga, A., Krishnakumar, T., & Kannan, R. (2019). The effect of surfactant on structural and optical properties of ZnO nanorods by wet chemical synthesis. *AIP Conference Proceedings*, 2142, 150017. doi: <https://doi.org/10.1063/1.5122566>

- Klaseboer, E., & Chan, D. Y. (2020). On the deviation of the Smoluchowski result of electrophoretic mobility. *Journal of Colloid and Interface Science*, 568, 176–184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.220.02.032>
- Sahu, D., Panda, N. R., & Dash, D. (2020). ZnO Nanosheets Exhibiting High UV Blocking Efficiency for Effective Application in Sunscreen. *Asian Journal of Chemistry*, 32(7), 1809–1814. doi: <https://doi.org/10.14233/AJCHEM.2020.22726>
- Singh, B., Singh, S., Singh, J., Saini, G. S., Mehta, D. S., Singh, G., . . . Kaura, A. (2015). Understanding the adsorption behavior of surface active molecules on ZnO nanostructures by experimental and first-principles calculations. *Physical Chemistry*, 17(45), 30450–30460. doi: <https://doi.org/10.1039/C5CP02949J>
- Sugiyana, D., Septiani, W., Mukyawan, A. S., & Wahyudi, T. (2018). Sintesis Nanopartikel ZnO dan Immobilisasinya Pada Kain Kapas Sebagai Absorber Ultraviolet. *Arena tekstil*, 32(2). doi: <https://doi.org/10.31266/at.v32i2.3539>
- Xiong, S., George, S., Ji, Z., Lin, S., Yu, H., Damoiseaux, R., . . . Loo, S. C. (2018). Size of TiO₂ Nanoparticles Influences Their Phototoxicity: an In Vitro Investigation. *Arc Toxicol*, 87(1), 99–109. doi: <https://doi.org/10.1017/s00204-012-0912-5>
- Zhao, S., Wang, Z., Wang, X., Kong, B., Liu, Q., Xia, X., & Liu, H. (2023). Characterization of Nanoemulsions Stabilized with Different Emulsifiers Efficiency for Oregano Essential Oil: Tween 80, Soybean Protein Isolate, Tea Saponin, and Soy Lecithin. *Foods*, 12(17), 3183. doi: <https://doi.org/10.3390/foods12173183>.