



## Sintesis Nanopartikel Perak (NPAg) Menggunakan Ekstrak Air Buah Andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) dan Aplikasinya pada Fotodegradasi *Indigosol Blue*

Gusti Ayu Dewi Lestari<sup>a,\*</sup>, Iryanti Eka Suprihatin<sup>b</sup>, James Sibarani<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Program Studi S1 Farmasi Sekolah Tinggi Farmasi Mahaganesha, Bali, Indonesia

<sup>b</sup> Program Studi S2 Kimia Terapan Universitas Udayana, Denpasar, Bali, Indonesia

\* Corresponding author: [lestaridewi87@gmail.com](mailto:lestaridewi87@gmail.com)

<https://doi.org/10.14710/jksa.22.5.200-205>

### Article Info

#### Article history:

Received: 18 June 2019  
 Revised: 26 July 2019  
 Accepted: 12 August 2019  
 Online: 30 September 2019

#### Keywords:

*Zanthoxylum acanthopodium* DC; Silver Nanoparticles; Indigosol Blue; Photodegradation

#### Kata Kunci:

*Zanthoxylum acanthopodium* DC; Nanopartikel Perak; *Indigosol Blue*; Fotodegradasi

### Abstract

**Title: Synthesis of Silver Nanoparticles (NPAg) using Andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) Fruit Water Extract and Its Application in Indigosol Blue Photodegradation**

Silver nanoparticles (NPAg) are silver metal particles that are less than 100 nm in size. NPAg has several advantages, one of which is as a catalyst in the process of photodegradation. NPAg was obtained by reducing  $\text{AgNO}_3$  using andaliman fruit water extract (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.). This synthesis method is very effective because it is fast, non-toxic and environmentally friendly technology. This research aims to synthesize optimum NPAg and its application in the photodegradation process of Indigosol Blue in the form of volume, irradiation time, and optimum pH. NPAg synthesis was observed using a UV-VIS spectrophotometer while its size was observed using PSA (Particle Size Analyzer). The results showed the best NPAg synthesized using  $1 \times 10^{-3}$  M  $\text{AgNO}_3$  at  $60^\circ\text{C}$  with average NPAg size of 9.04 nm. NPAg which is formed is stable for  $\pm 35$  days. The optimum condition for the photodegradation process was achieved by using 2 mL NPAg 4 hour irradiation at pH 3. From the results of this study it can be concluded that NPAg can reduce the concentration of Indigosol Blue dye by up to 94.75%.

### Abstrak

Nanopartikel perak (NPAg) adalah partikel logam perak yang memiliki ukuran kurang dari 100 nm. NPAg memiliki beberapa keunggulan, salah satunya sebagai katalis dalam proses fotodegradasi. NPAg diperoleh dengan mereduksi  $\text{AgNO}_3$  menggunakan ekstrak air buah andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.). Metode sintesis ini sangat efektif karena cepat, tidak beracun dan teknologi yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis NPAg optimum dan aplikasinya dalam proses fotodegradasi *Indigosol Blue* berupa volume, waktu iradiasi, dan pH optimum. Sintesis NPAg diamati menggunakan spektrofotometer UV-VIS sedangkan ukurannya diamati menggunakan PSA (*Particle Size Analyzer*). Hasil penelitian menunjukkan sintesis NPAg terbaik menggunakan  $\text{AgNO}_3$   $1 \times 10^{-3}$  M pada suhu  $60^\circ\text{C}$  dengan ukuran NPAg 9,04 nm. NPAg yang terbentuk stabil selama  $\pm 35$  hari. Kondisi optimum fotodegradasi adalah menggunakan 2 mL NPAg selama 4 jam iradiasi pada pH 3. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa NPAg mampu menurunkan konsentrasi zat warna *Indigosol Blue* sampai dengan 94,75%.

## 1. Pendahuluan

Kemajuan terbaru di bidang nanoteknologi dan aplikasi nanopartikel menyebabkan adanya metode baru dalam sintesis nanopartikel. Umumnya, nanopartikel dapat dengan mudah disintesis menggunakan metode fisika dan kimia [1]. Namun, metode ini menghasilkan produk samping beracun dalam proses sintesisnya.

Salah satu metode yang aman digunakan untuk sintesis NPAG adalah penggunaan sumber daya hayati yang tersedia di alam yaitu tanaman [2] karena efisien, cepat, hemat energi dan ramah lingkungan [3]. Fakta sebelumnya mengungkapkan bahwa sintesis nanopartikel perak dengan pendekatan kimia hijau adalah kemungkinan menarik yang relatif kurang dieksploitasi. Fokus masa kini adalah menerapkan pendekatan kimia hijau dalam sintesis nanopartikel perak (NPAG) menggunakan ekstrak air buah andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) sebagai agen pereduksi dan penstabil NPAG [4].

Buah andaliman berasal dari daerah Sumatra terutama daerah Batak. Buah ini mengandung senyawa terpenoid, polifenol, kuinon, minyak atsiri, flavonoid dan alkaloid [5]. Pada beberapa penelitian, senyawa-senyawa tersebut mampu menghasilkan atau membentuk nanopartikel dari suatu logam [4]. Senyawa fenolik memiliki gugus hidroksil yang dapat mengikat logam. Kemampuan mengkelat logam dari senyawa fenolik karena memiliki karakter nukleofilik yang tinggi dari cincin aromatik [6]. Flavonoid merupakan gugus besar dari senyawa polifenol yang secara aktif mengkelat dan mereduksi ion logam menjadi nanopartikel. Flavonoid mengandung beberapa gugus fungsional yang berperan dalam pembentukan nanopartikel. Terdapat transformasi tautomeri flavonoid dari bentuk enol menjadi keto yang dapat melepaskan atom hidrogen reaktif yang dapat mereduksi ion logam menjadi nanopartikel [7].

Zat warna adalah senyawa organik sintesis yang digunakan dalam berbagai aplikasi [8]. Umumnya zat warna sintesis seperti *Indigosol Blue* akan terbuang ke lingkungan sekitar 15% [9]. Oleh karena itu, pengolahan limbah zat warna dari industri tekstil wajib dilakukan. Pelepasan zat warna dalam sistem perairan adalah masalah lingkungan utama karena zat warna tidak hanya mengurangi penetrasi sinar matahari dan oksigen terlarut dalam badan air, tetapi juga melepaskan senyawa racun yang mempengaruhi flora dan fauna air [10]. Salah satu cara mengatasi permasalahan ini adalah dengan fotodegradasi menggunakan katalis NPAG. NPAG dapat digunakan pada beberapa aplikasi seperti remediasi lingkungan, teknologi medis, energi dan pengolahan air [11, 12]. Ukuran NPAG memegang peran penting dalam sifat dan karakteristik. Hal tersebut dapat dikendalikan dengan mengatur reaksi sintesis seperti suhu sintesis, waktu sintesis dan konsentrasi prekursor larutan  $\text{AgNO}_3$ . Proses sintesis nanopartikel perak dengan memvariasikan temperatur dapat menghasilkan ukuran nanopartikel yang berbeda-beda. Semakin tinggi suhu reaksi maka ukuran partikel perak yang dihasilkan semakin kecil [13]. Oleh karena itu dalam penelitian ini

dipelajari reaksi pembentukan nanopartikel perak dengan memvariasikan konsentrasi larutan perak ( $\text{AgNO}_3$ ) dan suhu sintesisnya. Dalam artikel ini dilaporkan bahwa NPAG dari ekstrak air buah andaliman ini mampu mendegradasi zat warna *Indigosol Blue* sehingga diharapkan dapat memberikan metode yang lebih efisien dalam memecahkan permasalahan lingkungan khususnya mengenai pengolahan limbah zat warna.

## 2. Metodologi

### 2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya spektrofotometer UV-VIS Shimadzu UV-1800, *Particle Size Analyzer* Malvern, *magnetic stirrer*, lampu UV B dengan panjang gelombang 280–320 nm, set alat gelas, kotak iradiasi (kotak tertutup rapat yang dilengkapi lampu UV B). Bahan yang digunakan adalah kristal perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ) dari PT Brataco, buah andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) dari Kota Medan dan zat warna *Indigosol Blue* dari Toko Warna Asli.

### 2.2. Ekstraksi Buah Andaliman

Sebanyak 20 gram serbuk buah andaliman dipanaskan dengan menggunakan 100 mL aqua demineralisasi dalam gelas beker 250 mL selama 15 menit pada suhu 60°C. Setelah larutan dingin, dilakukan penyaringan dengan menggunakan kertas saring. Ekstrak air buah andaliman hasil penyaringan akan digunakan untuk proses sintesis nanopartikel perak.

### 2.3. Sintesis Nanopartikel Perak

Sintesis nanopartikel perak dilakukan dengan mencampur larutan  $\text{AgNO}_3$  dengan ekstrak air buah andaliman. Perlakuan yang dilakukan adalah dengan membandingkan konsentrasi larutan  $\text{AgNO}_3$ :  $5 \times 10^{-4}$  M (A) dan  $1 \times 10^{-3}$  M (B). Perbandingan ekstrak air buah andaliman dengan larutan  $\text{AgNO}_3$  adalah 1:10 (v/v). Campuran larutan tersebut dilakukan proses pemanasan dengan variasi suhu pada 25°C, 40°C dan 60°C (A25, A40, A60, B25, B40, B60). Sebagai indikator telah terbentuknya nanopartikel perak secara visual adalah adanya perubahan warna larutan dari kuning bening menjadi kuning kecoklatan hingga merah kecoklatan. Selanjutnya NPAG yang telah diperoleh dikarakterisasi dengan menggunakan spektrofotometer UV-VIS dan PSA.

### 2.4. Reaksi Fotokatalisis

#### 2.4.1. Penentuan Volume NPAG Optimum

Ke dalam 5 buah erlenmeyer 250 mL dituangkan 25 mL larutan *Indigosol Blue* 300 ppm. Ke dalam erlenmeyer tersebut dimasukkan masing-masing sebanyak 1, 2, 4, 6 dan 8 mL koloid NPAG. Selanjutnya, erlenmeyer dimasukkan ke dalam kotak iradiasi. Untuk masing-masing volume dilakukan 3 kali replikasi. Masing-masing campuran larutan *Indigosol Blue* dan katalis dalam gelas beker diirradiasi dengan lampu UV sambil diaduk dengan pengaduk magnetik selama 30 menit. Setelah selesai, diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum dari *Indigosol Blue* pada 677 nm.

#### 2.4.2. Penentuan Waktu Irradiasi Optimum

Penentuan pengaruh waktu irradiasi dalam proses fotodegradasi dilakukan dengan menambahkan fotokatalis volume optimum yang diperoleh. Disiapkan 6 gelas erlenmeyer 250 mL dan diisi 25 mL larutan *Indigosol Blue* 300 ppm. Selanjutnya, campuran diirradiasi sinar UV, diaduk dengan pengaduk magnetik selama 0.5, 1, 2, 3, 4 dan 5 jam. Untuk masing-masing waktu dilakukan 3 kali replikasi. Setelah proses radiasi supernatan yang diperoleh diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum dari *Indigosol Blue*.

#### 2.4.3. Penentuan pH Optimum

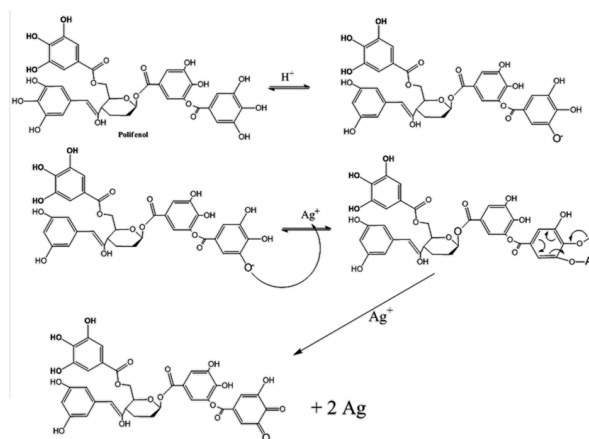
Gelas erlenmeyer 250 mL diisi dengan 25 mL *Indigosol Blue*. Selanjutnya ke dalam erlenmeyer tersebut ditambahkan koloid NPAG dengan volume optimum dan pH larutan diatur masing-masing yaitu pH 3, 5, 7, 9 dan 11. Untuk masing-masing pH dilakukan 3 kali replikasi. Masing-masing erlenmeyer dimasukkan ke dalam kotak radiasi. Selanjutnya larutan *Indigosol Blue* dalam erlenmeyer diaduk dengan pengaduk magnet dan disinari dengan sinar ultraviolet dengan waktu irradiasi optimum. Setelah proses radiasi, supernatan diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimumnya.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Sintesis Nanopartikel Perak

Sintesis dan karakterisasi NPAG diamati menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan *Particle Size Analyzer* (PSA). Perbedaan konsentrasi awal  $\text{AgNO}_3$  dan suhu sintesis dilakukan untuk mengetahui pola pertumbuhan NPAG dalam koloid. Salah satu indikator terbentuknya nanopartikel perak dalam larutan ditandai dengan adanya perubahan warna dari kekuningan menjadi coklat kemerahan seiring bertambahnya waktu [14].

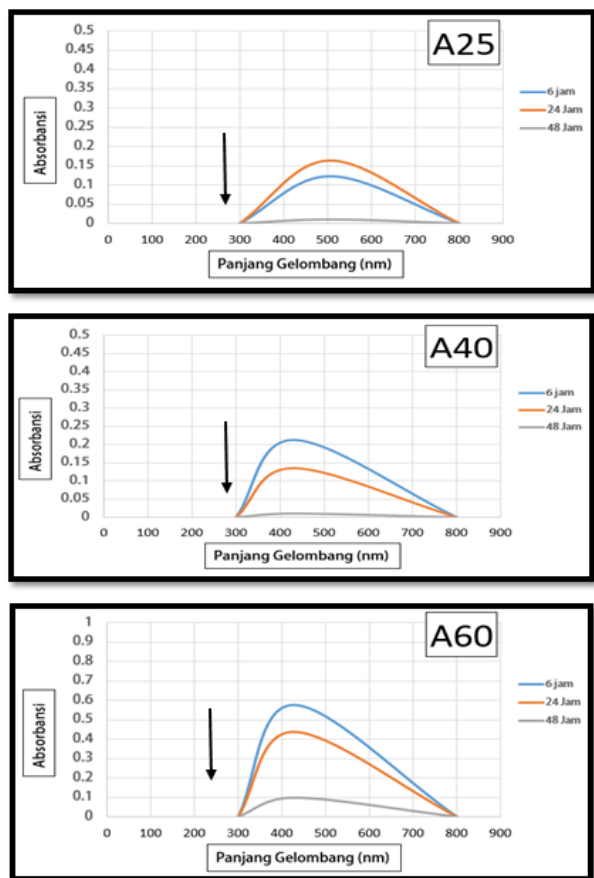
Prediksi pembentukan NPAG dari reaksi reduksi oleh senyawa polifenol dapat dilihat pada Gambar 1. Reaksi yang terjadi merupakan reaksi autokatalitik. Reaksi autokatalitik merupakan reaksi kimia di mana terdapat produk atau reaktan yang mampu berperan sebagai katalis. Pada Gambar 1 dapat diketahui bahwa reaksi reduksi terjadi antara senyawa polifenol dan ion  $\text{Ag}^+$  di mana ion  $\text{Ag}^+$  menjadi reaktan yang juga berperan sebagai katalis. Pada tahap awal senyawa polifenol dalam larutan berubah dari gugus R-OH menjadi gugus R-O<sup>-</sup> yang siap bereaksi. Selanjutnya polifenol mengikat  $\text{Ag}^+$  dan membentuk gugus RO-Ag. Pada tahap ini terjadi reaksi di mana ion  $\text{Ag}^+$  yang terikat akan mengalami reaksi pemutusan rantai polifenol dan kemudian lepas membentuk  $\text{Ag}^0$  [15].



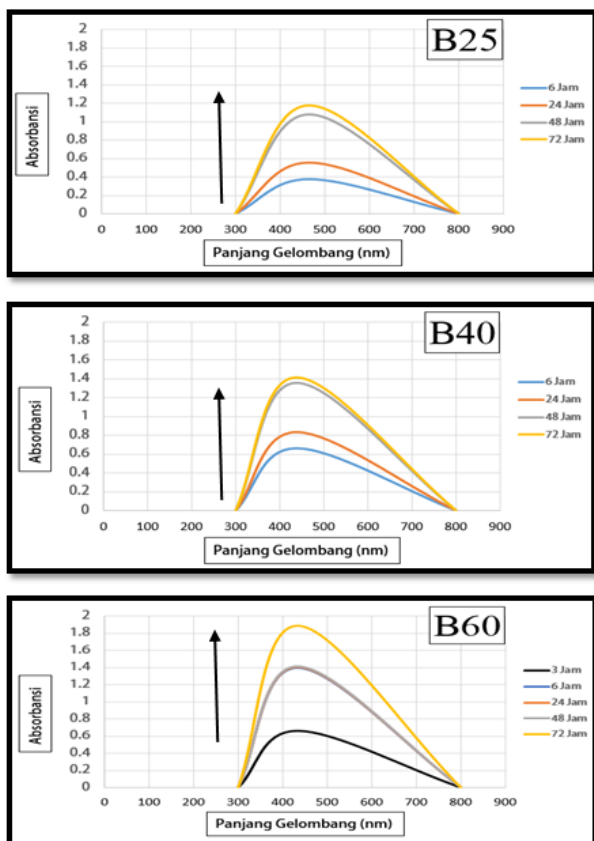
Gambar 1. Perkiraan reaksi dalam sintesis nanopartikel perak oleh polifenol

Pada sampel A yang ditunjukkan Gambar 2, perubahan warna yang terjadi cukup lambat dibandingkan dengan sampel B. Hal tersebut disebabkan karena konsentrasi  $\text{AgNO}_3$  pada sampel A sangat kecil sehingga reaksi berjalan sangat lambat. Selain itu, NPAG yang terbentuk tidak stabil sehingga pertumbuhannya dari hari ke hari semakin turun dan tidak terdeteksi di mana nilai absorbansi menunjukkan kuantitas NPAG dalam koloid [16]. Hal ini disebabkan mulai terbentuknya kluster yang lebih besar akibat agregasi [17]. Hasil menunjukkan bahwa sampel B pada Gambar 3, dalam jangka waktu 3 jam warna larutan telah berubah menjadi coklat kemerahan. Hal ini menandakan pertumbuhan NPAG lebih cepat dan stabil pada sampel B dibandingkan sampel A.

Pengaruh temperatur menunjukkan suhu reaksi lebih tinggi menghasilkan perubahan warna larutan lebih cepat, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu, pembentukan NPAG semakin cepat [18].



Gambar 2. Spektra UV-Vis NPAg sampel A ( $5 \times 10^{-4}$  M) pada berbagai waktu.



Gambar 3. Spektra UV-Vis NPAg sampel B ( $1 \times 10^{-3}$  M) pada berbagai waktu.

Semakin tinggi suhu reaksi maka ukuran nanopartikel perak yang terbentuk semakin kecil. Sintesis nanopartikel pada suhu yang lebih tinggi menghasilkan partikel dengan ukuran rata-rata lebih kecil di mana ukuran NPAg terkecil diperoleh 9,04 nm melalui pengukuran PSA. Hal ini disebabkan pada suhu lebih tinggi ( $50^{\circ}\text{C}$ - $100^{\circ}\text{C}$ ), sebagian besar ion-ion perak yang terbentuk berubah menjadi inti nanopartikel perak (*nuclei*) dan menghambat proses reaksi reduksi lanjutan dipermukaan *nuclei* yang sudah terbentuk sebelumnya [19]. NPAg yang dihasilkan juga memiliki kestabilan yang baik karena sampai umur 35 hari, ukuran NPAg masih di bawah 100 nm. Panjang gelombang NPAg diukur tiap 7 hari dan didapatkan hasil untuk range  $\lambda$  berkisar 400-500 nm [20]. Hal ini menunjukkan NPAg masih terbentuk dengan ukuran di bawah 100 nm. Nilai zeta potensial sampel B pada Tabel 1 cukup baik sehingga kemungkinan partikel untuk beragregasi atau bergabung satu sama lain menjadi partikel yang lebih besar sangat kecil. NPAg terbaik disintesis dengan menggunakan konsentrasi  $\text{AgNO}_3$   $1 \times 10^{-3}$  M pada suhu  $60^{\circ}\text{C}$  sehingga NPAg ini yang digunakan sebagai katalis dalam proses fotodegradasi. Umumnya atom-atom pada permukaan nanopartikel tersusun lebih banyak dan rapat sehingga berpengaruh dalam sifat material terutama fotokatalis. Luas permukaan nanopartikel meningkat tajam dengan mengecilnya ukuran. Partikel logam dengan ukuran sekitar 1 nm memiliki atom yang hampir 100% berada di permukaan. Meningkatnya persentase atom di permukaan diharapkan meningkatkan reaktivitas partikel tersebut, lebih khusus lagi jika partikel tersebut berperan sebagai katalis [21].

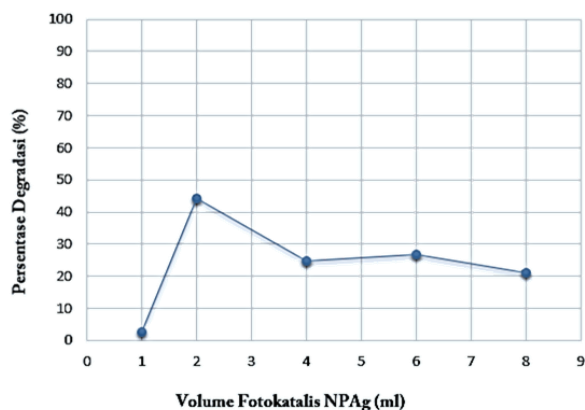
Tabel 1. Ukuran Partikel, Indeks Polidispersitas dan Zeta Potensial beberapa sampel NPAg dengan konsentrasi  $1 \times 10^{-3}$  M pada berbagai suhu sintesis

Sampel	Ukuran Partikel (nm)	PDI	Zeta Potensial (mV)
B25	34,98	0,246	-24,1
B40	17,50	0,393	-25,5
B60	9,04	0,400	-26,4

### 3.2. Penentuan Volume NPAg Optimum

Hasil fotodegradasi *Indigosol Blue* dengan variasi volume NPAg dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan hasil yang diperoleh terlihat bahwa persentase degradasi terbesar (44,32%) *Indigosol Blue* diperoleh pada NPAg volume 2 mL. Namun persentase degradasi *Indigosol Blue* menurun ketika volume NPAg di atas 2 mL. Hal ini disebabkan karena penambahan NPAg yang terlalu banyak dapat menyebabkan kekeruhan pada larutan *Indigosol Blue* sehingga sinar UV yang dipancarkan tidak dapat terserap secara maksimal oleh permukaan NPAg dan menghalangi terjadinya proses fotodegradasi.

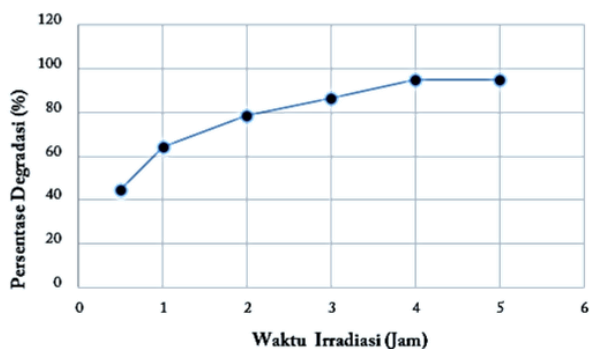




Gambar 4. Pengaruh jumlah fotokatalis NPAg terhadap persentase degradasi Indigosol Blue 300 ppm dengan proses irradiasi selama 30 menit

### 3.3. Penentuan Waktu Irradiasi Optimum

Persentase degradasi Indigosol Blue terbesar (94,75%) diperoleh pada jam ke-4 seperti yang terlihat pada Gambar 5. Semakin lama waktu degradasi maka semakin banyak kontak antara zat warna dengan katalis sehingga meningkatkan proses fotodegradasinya. Pada gambar tersebut menunjukkan persentase degradasi Indigosol Blue dari waktu ke waktu terus meningkat di mana fotokatalis NPAg membutuhkan waktu untuk mendegradasi seluruh zat warna Indigosol Blue.



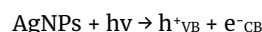
Gambar 5. Pengaruh Waktu Irradiasi Terhadap Persentase Degradasi Indigosol Blue 300 ppm

### 3.4. Penentuan pH Optimum

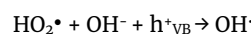
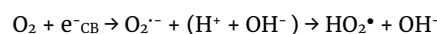
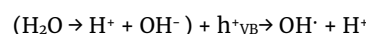
Salah satu parameter yang berperan penting dalam proses fotodegradasi adalah pH. Grafik hubungan antara pH dengan persentase degradasi yang terlihat pada Gambar 6, di mana pH optimum yang diperoleh dalam proses fotodegradasi Indigosol Blue adalah 3. Persentase degradasi cenderung menurun pada pH netral. Pada pH basa konsentrasi ion hidroksil (OH<sup>-</sup>) meningkat dan bereaksi dengan hole (h<sup>+</sup>) untuk membentuk radikal hidroksil (OH•) sehingga menyebabkan peningkatan laju degradasi fotokatalitik. Pada pH asam, zat warna anionik seperti Indigosol Blue mengalami fotodegradasi yang paling maksimal karena ketersediaan hole (h<sup>+</sup>) yang cukup untuk bereaksi dengan H<sub>2</sub>O untuk menghasilkan OH<sup>-</sup>. Ion hidroksil ini bereaksi dengan hole membentuk radikal hidroksil (OH•) yang mendegradasi zat warna Indigosol Blue. Pada pH asam, zat warna yang bermuatan negatif akan banyak berinteraksi dengan katalis

dikarenakan permukaan katalis menjadi bermuatan positif. Selain itu muatan positif dari katalis membantu perpindahan elektron yang diinduksi oleh foton (hv) di mana elektron ini dapat bereaksi dengan O<sub>2</sub> menghasilkan O<sub>2</sub><sup>•-</sup>. Bersamaan dengan itu, proses ini juga menghambat rekombinasi elektron hole dan menghasilkan lebih banyak OH<sup>-</sup> melalui reaksi hole (h<sup>+</sup>) dengan air. Seperti yang diketahui reaksi hole (h<sup>+</sup>) dengan OH<sup>-</sup> akan menghasilkan radikal hidroksil (OH•). Ion-ion radikal (OH• dan O<sub>2</sub><sup>•-</sup>) yang terbentuk nantinya akan meningkatkan efisiensi fotodegradasi [22]. Perkiraan mekanisme degradasi senyawa organik sebagai berikut [23]:

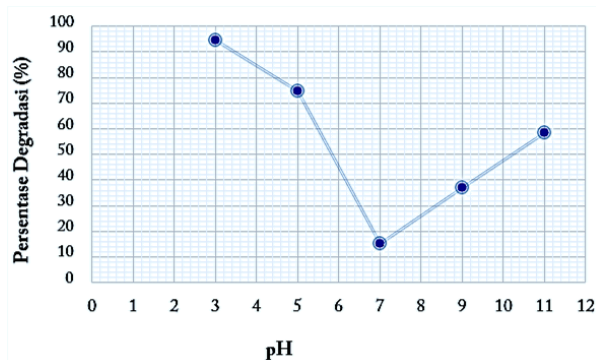
1. Penyerapan foton oleh nanopartikel:



2. Produksi radikal OH•



3. Oksidasi polutan organik melalui serangan OH• radikal



Gambar 6. Pengaruh pH larutan Indigosol Blue 300 ppm terhadap persentase degradasi dengan waktu irradiasi selama 4 jam

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh simpulan bahwa ekstrak air buah andaliman mampu mereduksi larutan AgNO<sub>3</sub> 1x10<sup>-3</sup> M menjadi nanopartikel perak berukuran rata-rata 9,04 nm dengan suhu sintesis 60°C. Panjang gelombang NPAg yang diperoleh bervariasi antara 400 sampai 500 nm di mana panjang gelombang optimum yang diperoleh 442 nm. Nanopartikel perak yang disintesis mampu mendegradasi zat warna Indigosol Blue sampai 94,75% pada kondisi optimumnya yaitu pada volume 2 mL, waktu irradiasi 4 jam, serta pH 3.

## Daftar Pustaka

[1] Abdullah Alqudami, S. Annapoorni, Fluorescence From Metallic Silver and Iron Nanoparticles Prepared by Exploding Wire Technique, Plasmonics, 2, 1, (2007) 5-13  
<https://doi.org/10.1007/s11468-006-9019-2>

- [2] Kumari Jyoti, Mamta Baunthiyal, Ajeet Singh, Characterization of silver nanoparticles synthesized using *Urtica dioica* Linn. leaves and their synergistic effects with antibiotics, *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 9, 3, (2016) 217-227 <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2015.10.002>
- [3] U. K. Parashar, Preeti Saxena, Anchal Srivastava, Bioinspired synthesis of silver nanoparticles, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 4, (2009) 159-166
- [4] Mohd Sayeed Akhtar, Jitendra Panwar, Yeoung-Sang Yun, Biogenic Synthesis of Metallic Nanoparticles by Plant Extracts, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 1, 6, (2013) 591-602 <https://doi.org/10.1021/sc300118u>
- [5] B. L. Siregar, Andaliman (*Zanthoxylum Acanthopodium* DC.) di Sumatera Utara; Deskripsi dan Perkecambahannya, *Hayati, Journal of Biosciences*, (2002) 38-40
- [6] A. Michalak, Phenolic Compounds and Their Antioxidant Activity in Plants Growing under Heavy Metal Stress, *Polish Journal of Environmental Studies*, 15, 4, (2006) 523-530
- [7] V. V. Makarov, A. J. Love, O. V. Sinitsyna, S. S. Makarova, I. V. Yaminsky, M. E. Taliansky, N. O. Kalinina, "Green" nanotechnologies: synthesis of metal nanoparticles using plants, *Acta Naturae*, 6, 1, (2014) 35-44
- [8] Mohammad Hossein Habibi, Elham Askari, Photocatalytic Degradation of an Azo Textile Dye with Manganese-Doped ZnO Nanoparticles Coated on Glass, *Iranian Journal of Catalysis*, 1, 1, (2011) 41-44
- [9] Kumari Jyoti, Ajeet Singh, Green synthesis of nanostructured silver particles and their catalytic application in dye degradation, *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 14, 2, (2016) 311-317 <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2016.09.005>
- [10] Andra Predescu, Avram Nicolae, Adsorption of Zn, Cu and Cd from Waste Waters by Means of Maghemite Nanoparticles, *UPB Scientific Bulletin, Series B: Chemistry and Materials*, 74, 1, (2012) 255-264
- [11] Mojtaba Amini, Hadi Naslhajian, S. Morteza F. Farnia, V-doped titanium mixed oxides as efficient catalysts for oxidation of alcohols and olefins, *New Journal of Chemistry*, 38, 4, (2014) 1581-1586 <https://doi.org/10.1039/C4NJ00066H>
- [12] Mohammad Mahdi Najafpour, Fahimeh Rahimi, Mojtaba Amini, Sara Nayeri, Mojtaba Bagherzadeh, A very simple method to synthesize nano-sized manganese oxide: an efficient catalyst for water oxidation and epoxidation of olefins, *Dalton Transactions*, 41, 36, (2012) 11026-11031 <https://doi.org/10.1039/C2DT30553D>
- [13] Jae Yong Song, Hyeon-Kyeong Jang, Beom Soo Kim, Biological synthesis of gold nanoparticles using *Magnolia kobus* and *Diopyros kaki* leaf extracts, *Process Biochemistry*, 44, 10, (2009) 1133-1138 <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2009.06.005>
- [14] Anna Zielińska, Ewa Skwarek, Adriana Zaleska, Maria Gazda, Jan Hupka, Preparation of silver nanoparticles with controlled particle size, *Procedia Chemistry*, 1, 2, (2009) 1560-1566 <https://doi.org/10.1016/j.proche.2009.11.004>
- [15] Dhimas Setiawan, Biosintesis Nanopartikel Perak dengan Reduktor Ekstrak Kulit Pisang Kepok (*Musa paradisiaca* Linn.) dan Laju Pembentukannya, Universitas Negeri Semarang, Semarang
- [16] Lorraine Mulfinger, Sally D. Solomon, Mozghan Bahadory, Aravindan V. Jeyarajasingam, Susan A. Rutkowsky, Charles Boritz, Synthesis and Study of Silver Nanoparticles, *Journal of Chemical Education*, 84, 2, (2007) 322 <https://doi.org/10.1021/ed084p322>
- [17] Irfa Apriliyanti Payapo, M. Zakir, Nunuk Hariani Soekamto, Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Ketapang (*Terminalia catappa*) dan Potensinya sebagai Tabir Surya Jurusan Kimia, Universitas Hasanuddin, Makassar
- [18] X. C. Jiang, W. M. Chen, C. Y. Chen, S. X. Xiong, A. B. Yu, Role of Temperature in the Growth of Silver Nanoparticles Through a Synergetic Reduction Approach, *Nanoscale Res Lett*, 6, 1, (2010) 32 <https://doi.org/10.1007/s11671-010-9780-1>
- [19] Jae Yong Song, Beom Soo Kim, Rapid biological synthesis of silver nanoparticles using plant leaf extracts, *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 32, 1, (2008) 79 <https://doi.org/10.1007/s00449-008-0224-6>
- [20] Morteza Yousefzadi, Zohreh Rahimi, Vahid Ghafari, The green synthesis, characterization and antimicrobial activities of silver nanoparticles synthesized from green alga *Enteromorpha flexuosa* (wulfen) J. Agardh, *Materials Letters*, 137, (2014) 1-4 <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2014.08.110>
- [21] Mila Tejamaya, Synthesis, characterization, and stability test of silver nanoparticles in ecotoxicology media, University of Birmingham, Birmingham, UK
- [22] Rania E. Adam, Gallia Pozina, Magnus Willander, Omer Nur, Synthesis of ZnO nanoparticles by co-precipitation method for solar driven photodegradation of Congo red dye at different pH, *Photonics and Nanostructures-Fundamentals and Applications*, 32, (2018) 11-18 <https://doi.org/10.1016/j.photonics.2018.08.005>
- [23] Elias E. Elemike, Damian C. Onwujiwe, Anthony C. Ekennia, Richard C. Ehiri, Nnaemeka J. Nnaji, Phytosynthesis of silver nanoparticles using aqueous leaf extracts of *Lippia citriodora*: Antimicrobial, larvicidal and photocatalytic evaluations, *Materials Science and Engineering: C*, 75, (2017) 980-989 <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.02.161>