

PENDEKATAN *GREEN SYNTHESIS* ZnAl₂O₄ MENGGUNAKAN EKSTRAK DAUN KUMIS KUCING (*Orthosiphon aristatus*)

GREEN SYNTHESIS APPROACH OF ZnAl₂O₄ USING *Orthosiphon aristatus* LEAF EXTRACT

Eka Angasa^{1*}, Irfan Gustian², Intan N.S. Napitupulu³, Nancy Willian⁴, Vivi Sisca⁵

¹²³⁵ Prodi Kimia, FMIPA, Universitas Bengkulu
Jln. Raya WR. Supratman Kandang Limun, Kota Bengkulu, 38371

⁴ Prodi Pendidikan Kimia, FKIP, Universitas Maritim Raja Ali Haji
Jln. Politeknik Senggarang, Tanjungpinang, Kepulauan Riau, 29115

*e-mail korespondensi: eka.angasa@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan pendekatan *green synthesis* ZnAl₂O₄ menggunakan ekstrak daun kumis kucing (*Orthosiphon aristatus*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek ekstrak daun kumis kucing terhadap kristalinitas, ukuran, dan morfologi ZnAl₂O₄ yang diperoleh. *Green synthesis* ZnAl₂O₄ dilakukan dengan menggunakan variasi massa ekstrak, yaitu 8, 12, dan 20 g. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak daun kumis kucing berpengaruh kuat terhadap kristalinitas, bentuk, dan ukuran ZnAl₂O₄ yang diperoleh. Berdasarkan hasil analisis XRD, kristalinitas ZnAl₂O₄ yang disintesis menggunakan ekstrak kumis kucing menunjukkan kristalinitas yang lebih baik dibandingkan tanpa ekstrak. Penggunaan ekstrak 12 gram menghasilkan ZnAl₂O₄ dengan kristalinitas paling baik. Hasil analisis SEM menunjukkan bentuk partikel yang dihasilkan tidak seragam dengan ukuran yang bervariasi. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa ekstrak berperan kunci dalam pembentukan ZnAl₂O₄.

Kata kunci: Ekstrak daun, *Green synthesis*, *Orthosiphon aristatus*, Variasi berat, ZnAl₂O₄

Abstract

Green synthesis approach of ZnAl₂O₄ using *Orthosiphon aristatus* leaf extract has been done. This research aimed to determine the effect of *Orthosiphon aristatus* leaf extract on crystallinity, shape, and size of resulted ZnAl₂O₄. Green synthesis of ZnAl₂O₄ was conducted in weight variation of extract, i.e. 8, 12, and 20 g. The results show that the extract has strong effects on crystallinity, shape, and size of obtained ZnAl₂O₄. Based on XRD analysis, the crystallinity of ZnAl₂O₄ synthesized using *Orthosiphon aristatus* leaf extract showed a better crystallinity compared to without extract. The best crystallinity was obtained using a weight variation of 12 g of extract. SEM analysis show that the resulting particle shape was not uniform with varying size. These results confirm that the extract plays key role in the formation of ZnAl₂O₄.

Keywords: Green synthesis, Leaf extract, *Orthosiphon aristatus*, Weight variation, ZnAl₂O₄

PENDAHULUAN

Nanopartikel ZnAl₂O₄ merupakan suatu oksida dengan struktur spinel dan terdapat di alam dalam bentuk mineral granit (Ballarini et al., 2009). ZnAl₂O₄ salah satu jenis nanopartikel yang sangat menarik untuk diteliti. Hal ini

disebabkan oleh karena ZnAl₂O₄ mempunyai aplikasi yang luas seperti sebagai katalis atau pendukung dalam berbagai reaksi katalitik (Zhao et al., 2015), fotokatalis (Battiston et al., 2014), dan penyimpan hydrogen (Gholami et al., 2018). ZnAl₂O₄ memiliki sifat seperti ketahanan

mekanik tinggi, stabilitas termal yang tinggi, dan proses difusinya cepat, serta memiliki kapasitas dispersi logam yang baik, keasaman permukaan yang rendah, karakteristik hidrofobik, dan inert (Battiston et al., 2014; Kumar et al., 2007; Phani et al., 2001).

Sintesis nanopartikel $ZnAl_2O_4$ dapat dilakukan dengan berbagai macam metode seperti: *co-precipitation* (Battiston et al., 2014), sol gel (Belyaev et al., 2019), *microwave method* (Menon et al., 2017), *solid state reaction* (Huizar-Padilla et al., 2021), dan hidrotermal (Chen et al., 2008). Namun, sehubungan dengan peningkatan pencemaran lingkungan sebagai dampak kemajuan teknologi, berkembang penelitian sintesis nanopartikel berbasis ramah lingkungan (*green synthesis*) menggunakan senyawa-senyawa biologi berupa mikroorganisme dan tumbuhan-tumbuhan (Jeevanandam et al., 2016; Kharissova et al., 2013).

Penggunaan ekstrak tanaman dalam *green synthesis* nanomaterial menjadi populer untuk terus dikembangkan sampai saat ini dikarenakan mempunyai keunggulan seperti murah, tidak beracun, mudah digunakan, ketersediaannya melimpah, dan ramah lingkungan (Azar et al., 2020; Md Ishak et al., 2019). Ekstrak tumbuhan mengandung senyawa-senyawa bioaktif (flavonoid, fenol, saponin, alkaloid, terpenoid, vitamin, tannin, asam amino, dan senyawa fitokimia alam lainnya) yang telah terbukti dapat berfungsi sebagai agen pereduksi dan *capping agent* serta menghasilkan material dalam ukuran dan bentuk yang khas (Angasa et al., 2020; Dauthal & Mukhopadhyay, 2016; Ragupathi, Vijaya, Narayanan, et al., 2013). Oleh karena itu *green synthesis* $Zn_2Al_2O_4$ menggunakan ekstrak tanaman secara intensif terus dilakukan.

Beberapa penelitian telah melaporkan *green synthesis* $ZnAl_2O_4$ menggunakan ekstrak tumbuhan diantaranya ekstrak *Opuntia dilenii haw* dan *Sesamun indicum* L. (Ragupathi, Vijaya, Manikandan, et al., 2013; Ragupathi, Vijaya, Narayanan, et al., 2013), ekstrak daun pacar air (Angasa et al., 2015), ekstrak teh hijau dan daun zaitun (Gholami et al., 2018), dan ekstrak lidah buaya (Bobade & Undre, 2020). Indonesia tercatat sebagai negara dengan keanekaragaman hayati yang paling tinggi di dunia dengan jumlah 60% dari 2 jutaan spesies yang ada (Rambey et al., 2021). Sehingga potensi pengembangan sintesis nanomaterial menggunakan ekstrak tanaman memiliki potensi sangat besar, namun sampai saat ini masih

terbatas khususnya dalam sintesis $ZnAl_2O_4$. Hal ini ditunjukkan dengan minimnya laporan tentang penggunaan ekstrak tanaman Indonesia dalam sintesis $ZnAl_2O_4$ (Angasa et al., 2015). Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan *green synthesis* $ZnAl_2O_4$ menggunakan ekstrak kumis kucing (*Orthosiphon aristatus*). Ekstrak daun kumis kucing mengandung senyawa biomolekul aktif seperti fenol, tanin, flavonoid, terpenoid, saponin, turunan asam kafein, dan minyak esensial (Hsu et al., 2010; Vijayan et al., 2018). Sehingga ekstrak kumis kucing berpotensi sebagai *capping agent* dalam sintesis $ZnAl_2O_4$ yang akan menghasilkan $ZnAl_2O_4$ dengan karakteristik berbeda.

METODE PENELITIAN

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun kumis kucing (*Orthosiphon aristatus*), kertas saring, akua DM (Demineralisasi), $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ (produksi Merck, kemurnian $\geq 99,5\%$), $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ (produksi Merck, kemurnian $\geq 98,5\%$), NH_4OH (produksi Merck, kemurnian 32%), XRD (PANanalytical), dan SEM (FEI (Inspect-S50)).

Pembuatan ekstrak kumis kucing

Daun kumis kucing segar dicuci dan dikeringanginkan. Lalu daun ditimbang dengan variasi 8 g, 12 g, dan 20 g. Sampel masing-masing variasi dihaluskan menggunakan lumpang. Setelah itu diencerkan pada labu ukur 50 mL. Campuran diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 45 menit dan kemudian campuran disaring sehingga diperoleh filtrat yang akan digunakan.

Sintesis $ZnAl_2O_4$ tanpa menggunakan ekstrak

Prosedur ini merujuk pada penelitian yang dilakukan sebelumnya (Angasa et al., 2015). Sebanyak 25 mL $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ 1 M dicampur dengan 50 mL $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ 1 M sambil distirer. Kemudian ditambahkan NH_4OH sampai pH 10-11 dan diaduk selama 30 menit pada suhu 80 °C. Endapan yang diperoleh disaring menggunakan kertas saring dan dicuci dengan akua DM. Kemudian endapan yang diperoleh, dipindahkan ke dalam krus dan dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 120 °C selama 15 jam dan dilanjutkan dengan kalsinasi pada suhu 800 °C selama 4 jam. Padatan yang didapat, dimasukkan ke dalam desikator. Hasil sampel yang telah disintesis

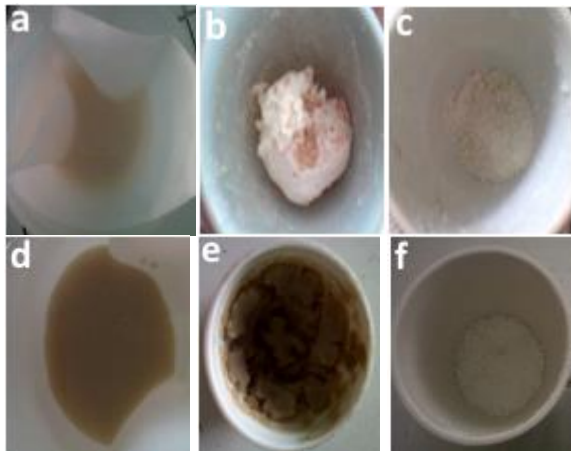
kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan XRD dan SEM.

Sintesis $ZnAl_2O_4$ menggunakan ekstrak

Sebanyak 25 mL $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ 1 M dan 50 mL $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ 1 M dimasukkan ke dalam gelas piala 100 mL sambil diaduk menggunakan stirer. Kemudian ditambahkan 10 mL ekstrak kumis kucing dan distirer selama 5 menit. Lalu ditambahkan amoniak secara perlahan hingga pH 10-11 dan dipanaskan pada suhu 80 °C sambil diaduk selama 30 menit. Setelah selesai, campuran disaring dengan menggunakan kertas saring dan dicuci dengan akua DM. Endapan yang diperoleh, dipindahkan ke dalam krus dan di oven selama 15 jam dengan suhu 120 °C dan dilanjutkan pada suhu 800 °C selama 4 jam. Perlakuan yang sama dilakukan untuk semua variasi yang digunakan. Sampel yang diperoleh, dikarakterisasi dengan menggunakan XRD dan SEM.

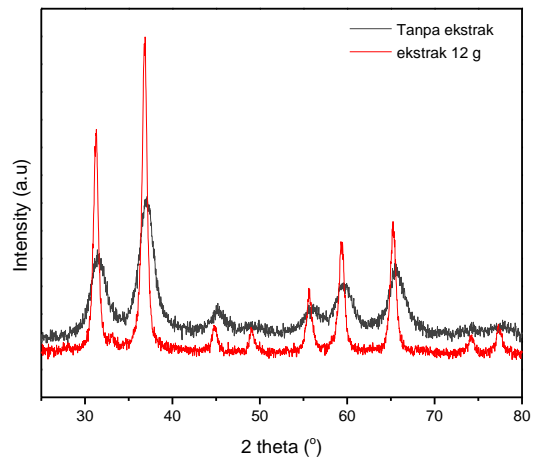
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil sintesis $ZnAl_2O_4$ tanpa dan dengan menggunakan ekstrak kumis kucing ditunjukkan oleh Gambar 1.



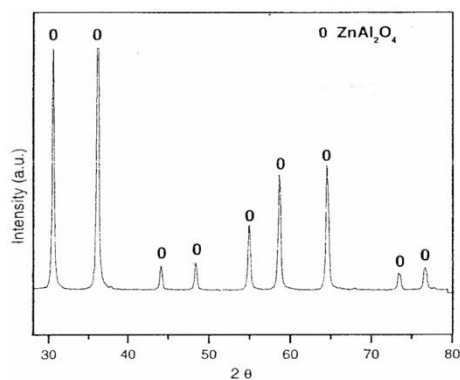
Gambar 1. Preparasi $ZnAl_2O_4$, a-c) sampel sebelum dioven, sampel setelah dioven, dan sampel setelah kalsinasi, secara berturut-turut tanpa menggunakan ekstrak, d-f) secara berturut-turut dengan menggunakan ekstrak

Difraktogram sampel yang dianalisis tanpa dan dengan menggunakan ekstrak kumis kucing ditunjukkan oleh Gambar 2.



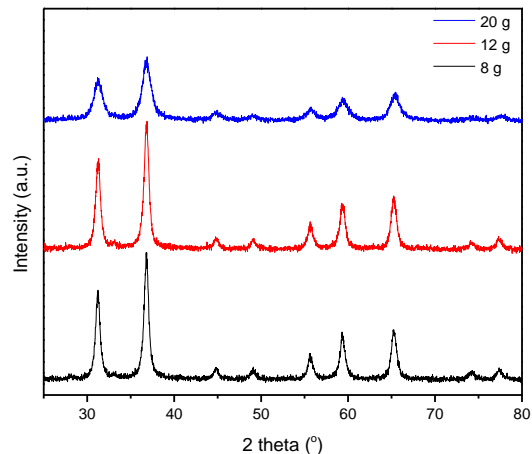
Gambar 2. Difraktogram sampel yang disintesis tanpa dan dengan menggunakan ekstrak 12 gram

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa difraktogram sampel yang disintesis tanpa dan dengan menggunakan ekstrak kumis kucing 12 g mempunyai puncak yang khas pada $2\theta = 31.25^\circ, 36.82^\circ, 44.84^\circ, 49.12^\circ, 55.61^\circ, 59.28^\circ, 65.18^\circ, 74.38^\circ, \text{ dan } 77.48^\circ$. Puncak yang khas ini merupakan puncak khas dari $ZnAl_2O_4$ yang berstruktur spinel sesuai dengan standar JCPDS no. 05.0669. Dari Gambar 2 juga dapat dilihat bahwa puncak difraktogram $ZnAl_2O_4$ yang disintesis dengan menggunakan ekstrak kumis kucing 12 g mempunyai intensitas yang lebih tinggi dan lebih tajam dibandingkan puncak $ZnAl_2O_4$ yang disintesis tanpa menggunakan ekstrak. Hal ini menunjukkan bahwa kristalinitas $ZnAl_2O_4$ yang disintesis menggunakan ekstrak lebih baik dibandingkan tanpa ekstrak. Hal ini menegaskan bahwa ekstrak kumis kucing berperan kunci dalam meningkatkan kristalinitas $ZnAl_2O_4$ yang diperoleh. Ekstrak kumis kucing mengandung senyawa-senyawa metabolit sekunder aktif yang mempunyai kemampuan untuk berinteraksi dengan ion Zn^{+2} dan Al^{+4} selama proses nukleasi, pertumbuhan, dan stabilisasi pembentukan $ZnAl_2O_4$ sehingga meningkatkan kristalinitas $ZnAl_2O_4$ yang diperoleh (Angasa et al., 2020; Jeevanandam et al., 2016). Dari Gambar 2 juga dapat dilihat bahwa tidak terdapat puncak senyawa lain yang mengindikasikan bahwa $ZnAl_2O_4$ yang disintesis tanpa dan menggunakan ekstrak kumis kucing 12 gram mempunyai tingkat kemurnian tinggi (Ballarini et al., 2009). Difraktogram $ZnAl_2O_4$ yang diperoleh juga mempunyai puncak yang sama dengan difraktogram $ZnAl_2O_4$ yang dilakukan oleh Ballarini *et al.* (2009) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3. Sehingga mempertegas bahwa sampel yang diperoleh adalah $ZnAl_2O_4$ berstruktur spinel.



Gambar 3. Difraktogram ZnAl_2O_4 yang dsintesis oleh Ballarini *et al.* (2009)

Lebih lanjut untuk melihat pengaruh ekstrak terhadap pembentukan ZnAl_2O_4 dilakukan sintesis ZnAl_2O_4 pada berbagai variasi, yaitu 8, 12, dan 20 g (Gambar 4). Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa konsentrasi ekstrak yang digunakan berpengaruh terhadap difraktogram ZnAl_2O_4 yang diperoleh. Difraktogram dengan intensitas tertinggi diperoleh menggunakan ekstrak 12 g yang mempunyai puncak tertinggi pada $2\theta = 36.82^\circ$ dengan nilai intensitas 1260. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan ekstrak 12 g menghasilkan ZnAl_2O_4 dengan kristalinitas paling baik. Namun, kristalinitas ZnAl_2O_4 yang disintesis dengan ekstrak 12 g tidak berbeda signifikan dibandingkan dengan ZnAl_2O_4 yang disintesis dengan ekstrak 8 g yang mempunyai intensitas tertinggi pada $2\theta = 36.82^\circ$ sebesar 1239. Perbedaan yang signifikan terjadi pada penggunaan ekstrak 20 g. Intensitas puncak ZnAl_2O_4 menurun tajam dengan puncak yang melebar. Bahkan pada 2θ antara 40° - 50° dan 70° - 80° puncaknya tidak muncul. Hal ini menunjukkan bahwa kristalinitas ZnAl_2O_4 yang diperoleh menurun. Hasil ini menegaskan bahwa kandungan metabolit sekunder pada ekstrak kumis kucing berpengaruh kuat terhadap kristalinitas ZnAl_2O_4 yang diperoleh.



Gambar 4. Difraktogram ZnAl_2O_4 pada berbagai variasi ekstrak kumis kucing yang digunakan

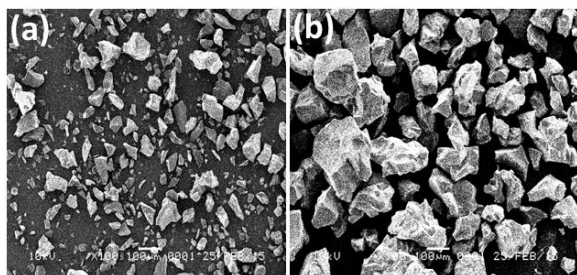
Ukuran kristal ZnAl_2O_4 yang disintesis pada berbagai variasi ekstrak kumis kucing dengan menggunakan persamaan Debye-Scherrer ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran kristal ZnAl_2O_4 yang disintesis menggunakan berbagai variasi ekstrak

No	Massa ekstrak daun kumis kucing (g)	Ukuran rata-rata kristal (nm)
1	0	20.42
2	8	22.87
3	12	29.39
4	20	13.16

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa ukuran rata-rata kristal ZnAl_2O_4 tanpa ekstrak adalah 20,42 nm. Sedangkan pada variasi 8 gram dan 12 gram ukuran yang dihasilkan lebih besar jika dibandingkan dengan yang tanpa ekstrak, yaitu 22,87 nm dan 29,39 nm. Namun, pada variasi 20 gram ekstrak daun kumis kucing terlihat bahwa ukuran rata-rata kristalnya sebesar 13,16 nm. Lebih kecil dibandingkan dengan tanpa ekstrak. Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak berperan kuat terhadap ukuran kristal ZnAl_2O_4 yang diperoleh.

Morfologi ZnAl_2O_4 yang disintesis tanpa dan menggunakan ekstrak kumis kucing dianalisis menggunakan SEM seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Morfologi ZnAl_2O_4 menggunakan SEM pada perbesaran 10.000x, a). tanpa ekstrak, b) dengan ekstrak kumis kucing 12 g

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa kedua morfologi ZnAl_2O_4 yang disintesis tanpa dan dengan menggunakan ekstrak mempunyai bentuk yang tidak teratur dengan ukuran yang bervariasi. Namun, partikel yang disintesis dengan menggunakan ekstrak kumis kucing 12 gram mempunyai partikel yang lebih merata dibandingkan dengan tanpa ekstrak dan tidak terdapat aglomerasi. Sehingga dapat dijelaskan bahwa ekstrak dapat berfungsi sebagai *capping agents*. Senyawa-senyawa metabolit sekunder yang terdapat pada ekstrak mampu membatasi pertumbuhan partikel yang mengakibatkan tidak terjadi aglomerasi (Iravani, 2011; Jeevanandam et al., 2016; Md Ishak et al., 2019). Dari Gambar 5 dapat juga dilihat bahwa ukuran partikel ZnAl_2O_4 yang disintesis tanpa ekstrak lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan ekstrak. Hal ini bersesuaian dengan hasil analisis XRD yang menunjukkan bahwa difraktogram ZnAl_2O_4 tanpa ekstrak mempunyai puncak yang lebih lebar dibandingkan dengan menggunakan ekstrak.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa ekstrak tumbuhan daun kumis kucing berpengaruh kuat terhadap kristalinitas, ukuran, dan bentuk ZnAl_2O_4 yang diperoleh. Kristalinitas yang paling baik diperoleh dengan menggunakan ekstrak kumis kucing 12 g. Sedangkan ukuran kristal yang paling kecil diperoleh menggunakan ekstrak 20 g dengan ukuran 13.16 nm. Analisis SEM menunjukkan bahwa partikel ZnAl_2O_4 yang disintesis tanpa dan menggunakan ekstrak memiliki ukuran yang berbeda dan bentuk yang tidak merata serta tidak terdapat agregat (gumpalan). Hasil ini menunjukkan bahwa senyawa metabolit sekunder pada ekstrak kumis kucing berperan kunci dalam pembentukan ZnAl_2O_4

DAFTAR RUJUKAN

- Angasa, E., Putri, Y. E., Zuhadjri, Jamarun, N., & Arief, S. (2020). Improving the morphological, optical, and photocatalytic properties of octahedral Zn_2SnO_4 using *Garcinia mangostana* fruit peel extract. *Vacuum*, 182(109719). <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109719>
- Angasa, E., Sari, I. N., Wardani, P. K., Yudha, S. P., & Gustian, I. (2015). Synthesis of zinc aluminate (ZnAl_2O_4) by using water extract of *Impatiens balsamina* L. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(10), 518–521.
- Azar, B. E., Ramazani, A., Fardood, S. T., & Morsali, A. (2020). Green synthesis and characterization of $\text{ZnAl}_2\text{O}_4@ZnO$ nanocomposite and its environmental applications in rapid dye degradation. *Optik*, 208. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2019.164129>
- Ballarini, A. D., Bocanegra, S. A., Castro, A. A., De Miguel, S. R., & Scelza, O. A. (2009). Characterization of ZnAl_2O_4 obtained by different methods and used as catalytic support of Pt. *Catalysis Letters*, 129, 293–302. <https://doi.org/10.1007/s10562-008-9833-6>
- Battiston, S., Rigo, C., Severo, E. da C., Mazuttia, M. A., Kuhn, R. C., Gündel, A., & Foletto, E. L. (2014). Synthesis of zinc aluminate (ZnAl_2O_4) spinel and its application as photocatalyst. *Materials Research*, 17(3), 734–738. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392014005000073>
- Belyaev, A. V., Lelet, M. I., Kirillova, N. I., Khamaletdinova, N. M., Boldin, M. S., Murashov, A. A., & Balabanov, S. S. (2019). Sol-gel synthesis and characterization of ZnAl_2O_4 powders for transparent ceramics. *Ceramics International*, 45(4), 4835–4839. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.11.179>
- Bobade, D. S., & Undre, P. B. (2020). Green synthesis of Ce^{+3} doped ZnAl_2O_4 phosphor using aloe - vera extract and its characterization. *Journal of Physics: Conference Series*, 1644(012032). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1644/1/012032>
- Chen, X. Y., Ma, C., Zhang, Z. J., & Wang, B. N. (2008). Ultrafine gahnite (ZnAl_2O_4)

- nanocrystals: Hydrothermal synthesis and photoluminescent properties. *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology*, 151, 224–230.
<https://doi.org/10.1016/j.mseb.2008.09.023>
- Creswell, J. W. (2012). Educational research: Planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research. In *Educational Research* (Vol. 4). Pearson.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Dauthal, P., & Mukhopadhyay, M. (2016). Noble metal nanoparticles: plant-mediated synthesis, mechanistic aspects of synthesis, and applications. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 55(36), 9557–9577.
<https://doi.org/10.1021/acs.iecr.6b00861>
- Gholami, T., Salavati-Niasari, M., & Sabet, M. (2018). Novel green synthesis of ZnAl₂O₄ and ZnAl₂O₄/graphene nanocomposite and comparison of electrochemical hydrogen storage and Coulombic efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 178, 14–21.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.012>
- Grooms, J., Enderle, P., & Sampson, V. (2015). Coordinating Scientific Argumentation and the Next Generation Science Standards through Argument Driven Inquiry. *Science Educator*, 24(1), 45–50.
- Hsu, C. L., Hong, B. H., Yu, Y. S., & Yen, G. C. (2010). Antioxidant and anti-inflammatory effects of orthosiphon aristatus and its bioactive compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 2150–2156.
<https://doi.org/10.1021/jf903557c>
- Huizar-Padilla, E., Guillén-Bonilla, H., Guillén-Bonilla, A., Rodríguez-Betancourt, V. M., Sánchez-Martínez, A., Guillén-Bonilla, J. T., Gildo-Ortiz, L., & Reyes-Gómez, J. (2021). Synthesis of ZnAl₂O₄ and evaluation of the response in propane atmospheres of pellets and thick films manufactured with powders of the oxide. *Sensors*, 21, 1–16.
<https://doi.org/10.3390/s21072362>
- Iravani, S. (2011). Green synthesis of metal nanoparticles using plants. *Green Chemistry*, 13(10), 2638.
<https://doi.org/10.1039/c1gc15386b>
- Jeevanandam, J., Chan, Y. S., & Danquah, M. K. (2016). Biosynthesis of metal and metal oxide nanoparticles. *ChemBioEng Reviews*, 3(2), 55–67.
<https://doi.org/10.1002/cben.201500018>
- Kharissova, O. V., Dias, H. V. R., Kharisov, B. I., Pérez, B. O., & Pérez, V. M. J. (2013). The greener synthesis of nanoparticles. *Trends in Biotechnology*, 31(4), 240–248.
<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2013.01.003>
- Kumar, K., Ramamoorthy, K., Koinkar, P. M., Chandramohan, R., & Sankaranarayanan, K. (2007). A novel way of modifying nano grain size by solution concentration in the growth of ZnAl₂O₄ thin films. *Journal of Nanoparticle Research*, 9, 331–335.
<https://doi.org/10.1007/s11051-006-9108-3>
- Md Ishak, N. A. I., Kamarudin, S. K., & Timmiati, S. N. (2019). Green synthesis of metal and metal oxide nanoparticles via plant extracts: an overview. *Materials Research Express*, 6(112004).
<https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab4458>
- Menon, S. G., Choudhari, K. S., Shivashankar, S. A., Chidangil, S., & Kulkarni, S. D. (2017). Microwave solution route to ceramic ZnAl₂O₄ nanoparticles in 10 minutes: Inversion and photophysical changes with thermal history. *New Journal of Chemistry*, 41, 5420–5428.
<https://doi.org/10.1039/c7nj01006k>
- Phani, A. R., Passacantando, M., & Santucci, S. (2001). Synthesis and characterization of zinc aluminum oxide thin films by sol-gel technique. *Materials Chemistry and Physics*, 68, 66–71.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0254-0584\(00\)00270-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0254-0584(00)00270-4)
- Ragupathi, C., Vijaya, J. J., Manikandan, A., & Kennedy, L. J. (2013). Phytosynthesis of Nano ZnAl₂O₄ by Using Sesamum (Sesamum indicum L.) Optical and Catalytic Properties. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 13, 1–9.
<https://doi.org/10.1166/jnn.2013.7922>
- Ragupathi, C., Vijaya, J. J., Narayanan, S., Kennedy, L. J., & Ramakrishna, S. (2013). Catalytic properties of nanosized zinc aluminates prepared by green process using Opuntia dillenii haw plant extract. *Chinese Journal of Catalysis*, 34(10), 1951–1958.
[https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(12\)60682-2](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(12)60682-2)
- Rambey, R., Susilowati, A., Rangkuti, A. B., Onrizal, O., Desrita, Ardi, R., & Hartanto, A. (2021). Plant diversity, structure and

- composition of vegetation around barumun watershed, north sumatra, indonesia. *Biodiversitas*, 22(8), 3250–3256.
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d220819>
- Sampson, V., & Grooms, J. (2007). Promoting and supporting scientific argumentation in the classroom: The evaluate-alternatives instructional model. *Science Scope*, 33(1), 66–74.
- Vijayan, R., Joseph, S., & Mathew, B. (2018). Augmented antimicrobial, antioxidant and catalytic activities of green synthesised silver nanoparticles. *Materials Research Express*, 5(8).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1088/2053-1591/aaaf33>
- Zhao, H., Dong, Y., Jiang, P., Wang, G., Zhang, J., & Zhang, C. (2015). ZnAl₂O₄ as a novel high-surface-area ozonation catalyst: One-step green synthesis, catalytic performance and mechanism. *Chemical Engineering Journal*, 260, 623–630.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.09.034>