

Desain Awal Reaktor untuk Produksi Nanopartikel Emas dengan Metode Turkevich pada Skala Industri

Thyta Medina Salsabila Erlangga, Asep Bayu Dani Nandiyanto, Risti Ragadhita

Program Studi Kimia, Universitas Pendidikan Indonesia

*Corresponding author, e-mail: thytamedina@upi.edu

ABSTRACT

This study aims to design and analyze the design of a batch-type reactor to optimize the production of gold nanoparticles on an industrial scale. The method used in the design of this reactor is the computational analysis of the reactor calculations, including stirring and mass balance as initial calculations using the Microsoft Excel application manually. The calculation results show that the designed reactor specifications have a reactor volume of 21.7335 ft³, cylinder height of 13.4612 in, a height of solution in the cylinder of 8.9046 in, vessel diameter of 73.2984 in, design pressure of 9.9978 psig, impeller length of 9.1840 in, shaft length of 10.5418 in, with stirring power 62.5228 Hp. Reactor design analysis is an important stage in the design of production processes on an industrial scale, where the specification results from the designed reactor can be used not only to adjust the reactor to the product but also to be used as a reference for production costs. The results of computational analysis and calculations performed on the reactor design in this study can be used as a reference and can be applied in the design of reactor performance analysis as a learning media, including operating mechanisms in the production process.

Keyword: gold nanoparticles, reactor design, batch reactor, industrial scale, learning.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis desain reaktor tipe batch dalam mengoptimalkan produksi nanopartikel emas dalam skala industri. Metode yang digunakan dalam perancangan reaktor ini adalah analisis komputasi terhadap perhitungan reaktor, termasuk pengadukan dan neraca massa sebagai perhitungan awal dengan menggunakan aplikasi Microsoft excel secara manual. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa spesifikasi reaktor yang dirancang ini memiliki volume reaktor 21.7335 ft³, tinggi silinder 13.4612 in, tinggi larutan dalam silinder 8.9046 in, diameter bejana 73.2984 in, tekanan desain 9.9978 psig, panjang impeller 9.1840 in, panjang poros 10.5418 in, dengan daya pengadukan 62.5228 Hp. Analisis desain reaktor ini menjadi tahapan penting dalam perancangan proses produksi dalam skala industri, dimana hasil spesifikasi dari reaktor hasil perancangan tersebut selain dapat digunakan untuk penyesuaian reaktor dengan produk, juga dapat digunakan sebagai acuan dalam biaya produksi. Hasil analisis komputasi dan perhitungan yang dilakukan pada perancangan reaktor dalam studi ini dapat dijadikan acuan dan dapat diterapkan dalam perancangan analisis kinerja reaktor sebagai media pembelajaran termasuk mekanisme operasi pada proses produksi.

Kata kunci: nanopartikel emas, desain reaktor, reaktor batch, skala industri, pembelajaran.

PENDAHULUAN

Nanopartikel emas diketahui memiliki banyak kegunaan karena keunikannya, yaitu sebagai katalis [1-3], biosensor [4-5], pencitraan X-ray [6], penghantaran obat [7], perangkat bioelektrik [8]. Sehingga, berbagai metode telah dilakukan oleh para peneliti untuk memproduksi nanopartikel emas yang kegunaannya sangat luas. Metode-

metode tersebut diantaranya biosintesis menggunakan berbagai ekstrak tanaman [2, 9-17], metode turkevich [18-21], reduksi secara kimia [22-23], laser ablation [24-25], sputter deposition [26], sonochemical [27], iridiasi-y [28].

Metode turkevich dengan penggunaan asam sitrat adalah salah satu cara untuk membuat nanopartikel emas menggunakan reaktor yang dirancang. Metode turkevich

adalah bentuk sintesis nanopartikel emas dengan reduksi sitrat HAuCl_4 , dimana sintesis ini menghasilkan partikel monodispersi dari pertumbuhan yang dimediasi partikel benih. Adapun keuntungan dari metode ini ialah reproduktifitasnya yang tinggi [29]. Pada sintesis nanopartikel emas, metode turkevich ini menjadi metode yang relatif sederhana dan dapat direproduksi untuk sintesis partikel antara 10-30 nm. Namun, partikel menjadi kurang bulat, distribusi ukuran menjadi lebih luas, dan hasilnya kurang dapat direproduksi untuk sintesis AuNP di atas ukuran 30 nm [30].

Disamping itu, jenis reaktor batch dipilih dalam perancangan reaktor ini. Desain reaktor batch telah dipelajari dari berbagai perspektif dalam pengembangan alat optimasi yang sistematis untuk meningkatkan kinerja. Desain reaktor batch tidak hanya tentang desain peralatan, tetapi juga desain operasi. Secara tradisional, desain reaktor batch yang mempertimbangkan dampak pencampuran telah ditangani dengan menggunakan korelasi parameter keseluruhan, termasuk waktu pencampuran, penarikan daya, dan kapasitas pemompaan impeler [31].

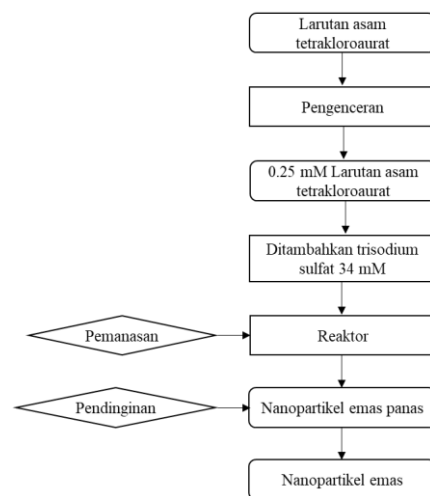
Adapun beberapa penelitian yang telah melaporkan desain reaktor batch, yaitu untuk produksi vanilin [32], produksi asam lemak volatil [33], produksi biohidrogen [34], biodiesel [35–37], dan sintesis nanopartikel [38-40]. Penggunaan batch reactor menunjukkan keuntungan dalam penghematan biaya untuk material, pemeliharaan, fabrikasi dan sertifikasi. Reaktor batch yang digunakan dalam penelitian ini juga dilengkapi dengan alat bantu seperti pengaduk, termokopel (dimasukkan ke dalam termowell), nosel (untuk berbagai keperluan), dan pengukur tekanan [41].

Oleh karena itu, studi ini dilakukan untuk merancang dan menganalisis desain reaktor batch pada produksi nanopartikel emas dengan metode turkevich menggunakan metode analisis komputasi terhadap perhitungan reaktor, termasuk pengadukan dan neraca massa sebagai perhitungan awal secara manual dengan aplikasi Microsoft Excel.

METODE

Sintesis Nanopartikel Emas dengan Metode Turkevich

Prosedur sintesis nanopartikel emas dalam skala laboratorium menggunakan metode tuvekich ini sebelumnya telah dilakukan oleh Dong et al. (2020), dimana diagram alir dari proses tersebut ditunjukkan pada Gambar 1. Sintesis nanopartikel emas diawali dengan menyiapkan 50 ml larutan emas klorida (HAuCl_4) 0,25 mM dalam labu. Begitupun dengan 34.0 mM (1.0 wt.%) larutan trisodium sitrat (NaCt) disiapkan. Labu berisi larutan HAuCl_4 dipanaskan menggunakan hotplate dengan pengadukan yang konstan dan kuat. Untuk menghindari kontaminasi dan penguapan pelarut selama sintesis, cawan Petri sekali pakai digunakan untuk menutup labu. Setelah larutan HAuCl_4 mencapai titik didih di bawah tekanan ambien, volume spesifik larutan NaCt dengan cepat disuntikkan ke dalam larutan HAuCl_4 (1:4). Sintesis selesai ketika warna suspensi tidak lagi berubah. Biasanya, reaksi memakan waktu 2-5 menit. Sampel didinginkan secara alami ke suhu kamar [30].



Gambar 1. Skema sintesis nanopartikel emas dengan metode turkevich

Asumsi Spesifikasi Rancangan Reaktor dan Pengaduk

Spesifikasi rancangan reactor dan pengaduk diasumsikan dengan memilih material untuk reactor yaitu stainless steel SA 240 Grade M Tipe 316 dengan tipe silinder yang tegak dan penutup atas *standard dished* dan penutup bawah berbentuk kerucut dengan sudut puncak 120° , sedangkan untuk pengaduk dipilih material baja paduan

tinggi SA 240 Grade M tipe 316 dengan tipe turbin aksial 4 sudut 45°C. Adapun asumsi spesifikasi lengkap ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Asumsi spesifikasi rancangan reaktor dan pengaduk

Bagian	Spesifikasi	Asumsi
Reaktor	Tipe	Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk <i>standard dished</i> dan tutup bawah kerucut dengan sudut puncak 120°
	Temperatur	90°C
	Tekanan	1 atm
	Waktu operasi	24 jam
	Material	Stainless steel SA 240 Grade M Tipe 316
	Tegangan yang diperbolehkan	18750
	Faktor korosi	0.0625
	Jumlah bahan yang masuk	20.585 kg/jam
	Tingkat volumetric	23.3844 ft ³ /jam
	Tipe	Turbin aksial 4 sudut 45°C
Pengaduk	Material impeller	Material baja paduan tinggi SA 240 Grade M tipe 316
	Material poros	Baja Rol Panas SAE 1020

Model Matematis dalam Perancangan Reaktor

Berbagai model matematis diperlukan untuk dapat merancang reaktor dalam memproduksi nanopartikel emas termasuk volume material, desain reaktor, hingga penentuan dimensi reaktor dan parameter pengaduk yang secara manual dihitung menggunakan Microsoft Excel. Proses pengolahan data tersebut disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Asumsi spesifikasi rancangan reaktor dan pengaduk

Bagian	Parameter	Persamaan
Reaktor	Diameter Vessel (Di)	$V_{total} = \frac{\pi di^3}{24 \tan 1/2\alpha} + \frac{\pi di^2}{4} \times Ls + 0,0847 di^3$
	Volume larutan dalam silinder (Vls)	$Vls = V \text{ liquid} - V \text{ top lid}$
	Tinggi larutan dalam	$Lls = \frac{Vls}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \times di^2}$

	silinder (Ls)	
	Tekanan desain (Pi)	$Pi = Patm + P_{hidrostatik}$ $P_{hidrostatik} = \frac{\rho (HL - 1)}{144}$
	Tebal silinder (Ts)	$Ts = \frac{Pi di^2}{2(f.E - 0,6Pi)} + C$
	Tinggi silinder (Ls)	$V_{total} = \frac{\pi di^3}{24 \tan 1/2\alpha} + \frac{\pi di^2}{4} \times Ls + 0,0847 di^3$
	Tebal penutup atas (tha)	$tha = \frac{0,885 \times Pi. di}{2(f.E - 0,1Pi)} + C$
	Tinggi penutup atas (ha)	$ha = 0,169 di$
	Tebal penutup bawah (thb)	$thb = \frac{Pi. di}{2(f.E - 0,6Pi) \cos 1/2\alpha} + C$
	Tinggi penutup bawah (hb)	$hb = \frac{1/2 d}{\tan 1/2\alpha}$
	Diameter impeller (Da)	$Da = Dt \times 0.5$ <p>Da = diameter impeller Dt = diameter dalam silinder</p>
	Tinggi impeller dari bagian bawah tangki (C)	$C = \frac{1}{3} \times Di$ <p>C = diameter dalam silinder Di = diameter bejana L = 1.4 × Da</p>
	Panjang impeller (L)	<p>L = Panjang impeller Da = diameter impeller W = 0.20 × Da</p>
Pengaduk Reaktor	Lebar impeller (W)	<p>W = Lebar impeller Da = diameter impeller</p> $n = \frac{H \text{ liquid}}{2 \times Da^5}$
	Jumlah pengaduk(n)	<p>n = jumlah stirrer Da = diameter impeller</p> $NRe = \frac{L^2 \times n \times \rho}{\mu}$
	Nilai Reynold (NRe)	<p>NRe = Reynold number L = Panjang impeller n = rotasi stirrer, set = 100 rpm = 1,67 rps ρ = densitas (lb/ft³)</p>

	$P = \frac{\phi \times \rho \times n^3 \times Di^5}{gc}$ $P_{required} = (0,1 + 0,15)P + P$
Daya Pengadukan (P)	P = power stirring ρ = densitas (lb/ft ³) Di = diameter impeller $gc = 32,2 \text{ lb.ft/s}^2 \cdot \text{lb}$ $D = \frac{16 \times T}{\pi \times S}$
Diameter poros pengaduk	D = diameter shaft stirrer $T = \text{jumlah tegangan (lb.in} = \frac{63025H}{N})$ $\pi = 3.14$ S = maksimal tegangan shearing yang diperbolehkan $L = h + l - Zi$
Panjang poros (L)	L = Panjang shaft(ft) h = tinggi silinder + tinggi penutup atas l = jarak impeller dengan tangki bawah Zi = Panjang shaft di atas tangki bejana

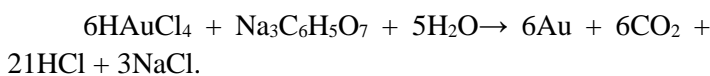
Analisis komputasi pada perancangan reaktor ini diawali dengan perhitungan neraca massa. Untuk mengetahui volume yang dapat masuk dan keluar dilakukan perhitungan neraca massa, dengan hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 3.

Hasil perhitungan manual menggunakan aplikasi Microsoft Excel untuk perancangan reaktor dan stirrer secara lengkap ditunjukkan pada Tabel 4 dan 5, di mana hasil tersebut menunjukkan bahwa spesifikasi reaktor hasil rancangan memiliki volume reaktor 21,7335 ft³, tinggi silinder 13,4612 in, tinggi larutan dalam silinder 8,9046 in, diameter bejana 73,2984 in, tekanan desain 9,9978 psig, panjang impeller 9,1840 in, panjang poros 10,5418 in, dengan daya pengadukan 62,5228 Hp. Sintesis nanopartikel emas memerlukan suhu pemanasan 90°C kemudian didinginkan pada suhu ruang 25°C. Oleh karena itu, fluida panas dan fluida dingin yang dapat digunakan adalah air. Fluida panas masuk pada suhu 90°C dan keluar pada suhu 25°C. Cairan dingin masuk pada suhu 10°C dan keluar pada suhu 30°C. Setelah nanopartikel emas terbentuk, yang ditandai dengan warna merah keunguan, proses produksi nanopartikel emas telah selesai dan dikumpulkan dalam tangki produk akhir.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Reaksi utama

Reaktor batch pada produksi nanopartikel emas berfungsi untuk mereaksikan hidrogen tetrakloroaurat dengan asam sitrat. Reaksi ini diharapkan terjadi di dalam reaktor batch selama proses produksi, dimana reaksi reduksi terjadi antara 2HAuCl₄ dengan 3C₆H₈O₇ membentuk 2Au sebagai produk utama. Adapun reaksi lengkap yang terjadi saat produksi nanopartikel emas sebagai berikut [18].



Tipe Reaktor

Reaktor adalah tempat terjadinya proses suatu reaksi dapat berlangsung, baik dalam ukuran kecil seperti tabung reaksi sampai dengan ukuran besar seperti reaktor skala industri.

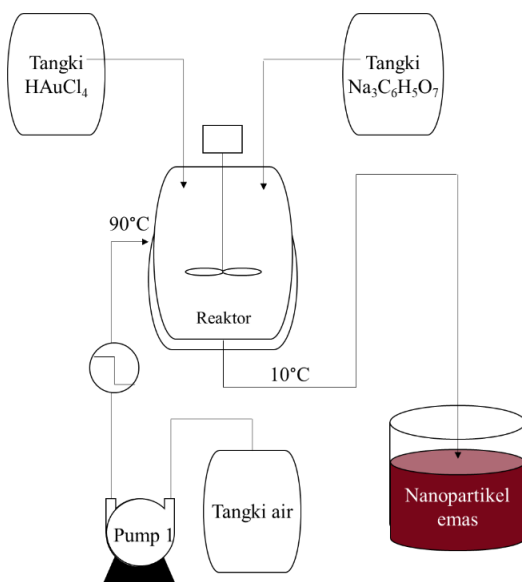
Oleh karena itu, perhitungan spesifikasi reaktor batch dan pengaduk ini memenuhi persyaratan dan standar pembelajaran perancangan reaktor dan mekanisme operasi pada sistem produksi, namun tanpa perhitungan faktor efektivitas. Adapun skema desain reaktor batch untuk produksi nanopartikel emas ditunjukkan pada Gambar 2.

Tabel 3. Hasil perhitungan untuk spesifikasi perancangan reaktor

Parameter	Hasil
Tipe reaktor	Reaktor batch
Diameter Bejana (Di)	73,2984 in / 6,1082 ft
Volume larutan dalam silinder (Vls)	21,7335 ft ³
Tinggi larutan dalam silinder (L ls)	0,7420 ft / 8,9046 in
Tekanan desain (Pi)	9,9978 psig
Tebal silinder (Ts)	73,4722 in
Tinggi silinder (Ls)	1,1217 ft / 13,4612 in
Tebal penutup atas (tha)	0,0841 in
Tinggi penutup atas (ha)	1,0322 ft / 12,3874 in
Tebal penutup bawah (thb)	0,1113 in
Tinggi penutup bawah (hb)	1,7653 ft / 21,1845 in

Tabel 4. Hasil perhitungan untuk spesifikasi perancangan reaktor

Parameter	Hasil
Diameter impeller (D_a)	3,0613 ft / 36,7361 in
Tinggi impeller dari bagian bawah tangki (C)	2,0408 ft / 24,4907 in
Panjang impeller (L)	0,7653 ft / 9,1840 in
Lebar impeller (W)	0,6122 ft / 7,3472 in
Jumlah stirrer (n)	0,0033 in / 1 buah
Nilai Reynold (N_{Re})	17266,61
Daya Pengadukan (P)	62.5228 Hp
Diameter poros pengaduk	3,5682 in
Panjang poros (L)	0,8784 ft / 10,5419 in



Gambar 2. Skema PFD produksi nanopartikel emas skala industri

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis komputasi dan perencanaan reaktor, reaktor tipe batch dipilih dalam studi ini untuk memproduksi nanopartikel emas pada skala industri. Hasil perhitungan manual menggunakan aplikasi Microsoft Excel menunjukkan bahwa hasil rancangan reaktor menghasilkan spesifikasi seperti volume reaktor 21,7335 ft³, tinggi silinder 13,4612 in, tinggi larutan dalam silinder 8,9046 in, diameter bejana 73,2984 in, tekanan desain 9,9978 psig, panjang impeller 9,1840 in, panjang poros 10,5418 in, dengan daya pengadukan 62,5228 Hp. Hasil perhitungan dan analisis rancangan reaktor ini dinilai dapat digunakan sebagai acuan untuk media pembelajaran

desain, perhitungan, serta mekanisme proses reaktor pada skala industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Abbas, H. H. Susapto, and C. A. E. Hauser, "Synthesis and Organization of Gold-Peptide Nanoparticles for Catalytic Activities," *ACS Omega*, vol. 7, no. 2, pp. 2082–2090, 2022, doi: 10.1021/acsomega.1c05546.
- [2] W. C. Song, B. Kim, S. Y. Park, G. Park, and J. W. Oh, "Biosynthesis of silver and gold nanoparticles using *Sargassum horneri* extract as catalyst for industrial dye degradation," *Arab. J. Chem.*, vol. 15, no. 9, p. 104056, 2022, doi: 10.1016/j.arabjc.2022.104056.
- [3] T. D. Tran, M. T. T. Nguyen, H. V. Le, D. N. Nguyen, Q. D. Truong, and P. D. Tran, "Gold nanoparticles as an outstanding catalyst for the hydrogen evolution reaction," *Chem. Commun.*, vol. 54, no. 27, pp. 3363–3366, 2018, doi: 10.1039/c8cc00038g.
- [4] D. Lin, R. G. Pillai, W. E. Lee, and A. B. Jemere, "An impedimetric biosensor for *E. coli* O157:H7 based on the use of self-assembled gold nanoparticles and protein G," *Microchim. Acta*, vol. 186, no. 3, pp. 1–9, 2019, doi: 10.1007/s00604-019-3282-3.
- [5] X. Lu, X. Dong, K. Zhang, X. Han, X. Fang, and Y. Zhang, "A gold nanorods-based fluorescent biosensor for the detection of hepatitis B virus DNA based on fluorescence resonance energy transfer," *Analyst*, vol. 138, no. 2, pp. 642–650, 2013, doi: 10.1039/c2an36099c.
- [6] M. A. MacKey, M. R. K. Ali, L. A. Austin, R. D. Near, and M. A. El-Sayed, "The most effective gold nanorod size for plasmonic photothermal therapy: Theory and in vitro experiments," *J. Phys. Chem. B*, vol. 118, no. 5, pp. 1319–1326, 2014, doi: 10.1021/jp409298f.
- [7] J. Cheng, Y. J. Gu, S. H. Cheng, and W. T. Wong, "Surface functionalized gold nanoparticles for drug delivery," *J. Biomed. Nanotechnol.*, vol. 9, no. 8, pp. 1362–1369, 2013, doi: 10.1166/jbn.2013.1536.
- [8] J. Im *et al.*, "Functionalized Gold Nanoparticles with a

Cohesion Enhancer for Robust Flexible Electrodes,” *ACS Appl. Nano Mater.*, vol. 5, no. 5, pp. 6708–6716, 2022, doi: 10.1021/acsanm.2c00742.

- [9] C. Kamaraj *et al.*, “Green synthesis of gold nanoparticles using *Gracilaria crassa* leaf extract and their ecotoxicological potential: Issues to be considered,” *Environ. Res.*, vol. 213, 2022, doi: 10.1016/j.envres.2022.113711.
- [10] M. Sivakavinesan *et al.*, “Citrus limetta Risso peel mediated green synthesis of gold nanoparticles and its antioxidant and catalytic activity,” *J. King Saud Univ. - Sci.*, vol. 34, no. 7, p. 102235, 2022, doi: 10.1016/j.jksus.2022.102235.
- [11] M. Hosny, M. Fawzy, Y. A. El-Badry, E. E. Hussein, and A. S. Eltaweil, “Plant-assisted synthesis of gold nanoparticles for photocatalytic, anticancer, and antioxidant applications,” *J. Saudi Chem. Soc.*, vol. 26, no. 2, p. 101419, 2022, doi: 10.1016/j.jscs.2022.101419.
- [12] A. Aji, D. Oktafiani, A. Yuniarto, and A. K. Amin, “Biosynthesis of gold nanoparticles using Kapok (*Ceiba pentandra*) leaf aqueous extract and investigating their antioxidant activity,” *J. Mol. Struct.*, vol. 1270, no. August, p. 133906, 2022, doi: 10.1016/j.molstruc.2022.133906.
- [13] N. Ahmad, S. Sharma, and R. Rai, “Rapid green synthesis of silver and gold nanoparticles using peels of *Punica granatum*,” *Adv. Mater. Lett.*, vol. 3, no. 5, pp. 376–380, 2012, doi: 10.5185/amlett.2012.6357.
- [14] S. Ayyoub *et al.*, “Biosynthesis of gold nanoparticles using leaf extract of *Dittrichia viscosa* and in vivo assessment of its anti-diabetic efficacy,” *Drug Deliv. Transl. Res.*, vol. 12, no. 12, pp. 2993–2999, 2022, doi: 10.1007/s13346-022-01163-0.
- [15] A. Folorunso *et al.*, “Biosynthesis, characterization and antimicrobial activity of gold nanoparticles from leaf extracts of *Annona muricata*,” *J. Nanostructure Chem.*, vol. 9, no. 2, pp. 111–117, 2019, doi: 10.1007/s40097-019-0301-1.
- [16] S. Valsalam, P. Agastian, G. A. Esmail, A. K. M. Ghilan, N. A. Al-Dhabi, and M. V. Arasu, “Biosynthesis of silver and gold nanoparticles using *Musa acuminata* colla flower and its pharmaceutical activity against bacteria and anticancer efficacy,” *J. Photochem. Photobiol. B Biol.*, vol. 201, p. 111670, 2019, doi: 10.1016/j.jphotobiol.2019.111670.
- [17] A. E. Adebayo *et al.*, “Biosynthesis of silver, gold and silver–gold alloy nanoparticles using *Persea americana* fruit peel aqueous extract for their biomedical properties,” *Nanotechnol. Environ. Eng.*, vol. 4, no. 1, 2019, doi: 10.1007/s41204-019-0060-8.
- [18] H. N. Verma, P. Singh, and R. M. Chavan, “Gold nanoparticle: Synthesis and characterization,” *Vet. World*, vol. 7, no. 2, pp. 72–77, 2014, doi: 10.14202/vetworld.2014.72-77.
- [19] F. Schulz, T. Homolka, N. G. Bastús, V. Puentes, H. Weller, and T. Vossmeier, “Little adjustments significantly improve the Turkevich synthesis of gold nanoparticles,” *Langmuir*, vol. 30, no. 35, pp. 10779–10784, 2014, doi: 10.1021/la503209b.
- [20] J. Kimling, M. Maier, B. Okenve, V. Kotaidis, H. Ballot, and A. Plech, “Turkevich method for gold nanoparticle synthesis revisited,” *J. Phys. Chem. B*, vol. 110, no. 32, pp. 15700–15707, 2006, doi: 10.1021/jp061667w.
- [21] M. Shah, V. Badwaik, Y. Kherde, H. K. Waghvani, T. Modi, and Z. P. Aguilar, “Table of contents 1.,” no. 8, pp. 1320–1344, 2014.
- [22] S. Ayyappan, R. S. Gopalan, G. N. Subbanna, and C. N. R. Rao, “Nanoparticles of Ag, Au, Pd, and Cu produced by alcohol,” *J. Mater. Res.*, vol. 12, no. 2, pp. 398–401, 1997.
- [23] S. Panigrahi, S. Kundu, S. K. Ghosh, S. Nath, and T. Pal, “General method of synthesis for metal nanoparticles,” *J. Nanoparticle Res.*, vol. 6, no. 4, pp. 411–414, 2004, doi: 10.1007/s11051-004-6575-2.
- [24] A. V. Simakin, V. V. Voronov, N. A. Kirichenko, and G. A. Shafeev, “Nanoparticles produced by laser ablation of solids in liquid environment,” *Laser Process. Adv. Mater. Laser Microtechnologies*, vol. 5121, p. 212, 2003, doi: 10.1117/12.515574.
- [25] H. R. Ghorbani, “A review of methods for synthesis of Al nanoparticles,” *Orient. J. Chem.*, vol. 30, no. 4, pp.

- 1941–1949, 2014, doi: 10.13005/ojc/300456.
- [26] E. Vanecht, K. Binnemans, J. W. Seo, L. Stappers, and J. Fransaer, “Growth of sputter-deposited gold nanoparticles in ionic liquids,” *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 13, no. 30, pp. 13565–13571, 2011, doi: 10.1039/c1cp20552h.
- [27] M. S. Jameel, A. A. Aziz, and M. A. Dheyab, “Comparative analysis of platinum nanoparticles synthesized using sonochemical-assisted and conventional green methods,” *Nano-Structures and Nano-Objects*, vol. 23, p. 100484, 2020, doi: 10.1016/j.nanoso.2020.100484.
- [28] N. Q. Hien, D. Van Phu, N. N. Duy, and L. A. Quoc, “Radiation synthesis and characterization of hyaluronan capped gold nanoparticles,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 89, no. 2, pp. 537–541, 2012, doi: 10.1016/j.carbpol.2012.03.041.
- [29] M. Wuihschick *et al.*, “Turkevich in New Robes: Key Questions Answered for the Most Common Gold Nanoparticle Synthesis,” *ACS Nano*, vol. 9, no. 7, pp. 7052–7071, 2015, doi: 10.1021/acsnano.5b01579.
- [30] J. Dong, P. L. Carpinone, G. Pyrgiotakis, P. Demokritou, and B. M. Moudgil, “Synthesis of precision gold nanoparticles using Turkevich method,” *KONA Powder Part. J.*, vol. 37, no. 37, pp. 224–232, 2020, doi: 10.14356/kona.2020011.
- [31] J. Zhang and R. Smith, “Design and optimisation of batch and semi-batch reactors,” *Chem. Eng. Sci.*, vol. 59, no. 2, pp. 459–478, 2004, doi: 10.1016/j.ces.2003.10.004.
- [32] J. D. P. Araújo, C. A. Grande, and A. E. Rodrigues, “Vanillin production from lignin oxidation in a batch reactor,” *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 88, no. 8, pp. 1024–1032, 2010, doi: 10.1016/j.cherd.2010.01.021.
- [33] M. Atasoy, O. Eyice, and Z. Cetecioglu, “A comprehensive study of volatile fatty acids production from batch reactor to anaerobic sequencing batch reactor by using cheese processing wastewater,” *Bioresour. Technol.*, vol. 311, no. May, p. 123529, 2020, doi: 10.1016/j.biortech.2020.123529.
- [34] W. H. Chen, S. Sung, and S. Y. Chen, “Biological hydrogen production in an anaerobic sequencing batch reactor: pH and cyclic duration effects,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 34, no. 1, pp. 227–234, 2009, doi: 10.1016/j.ijhydene.2008.09.061.
- [35] P. T. Benavides and U. Diwekar, “Studying various optimal control problems in biodiesel production in a batch reactor under uncertainty,” *Fuel*, vol. 103, pp. 585–592, 2013, doi: 10.1016/j.fuel.2012.06.089.
- [36] P. Valle, A. Velez, P. Hegel, G. Mabe, and E. A. Brignole, “Biodiesel production using supercritical alcohols with a non-edible vegetable oil in a batch reactor,” *J. Supercrit. Fluids*, vol. 54, no. 1, pp. 61–70, 2010, doi: 10.1016/j.supflu.2010.03.009.
- [37] B. K. Highina, I. M. Bugaje, and B. Umar, “Biodiesel production from *Jatropha caucis* oil in a batch reactor using zinc oxide as catalyst,” *J. Pet. Technol. Altern. Fuels*, vol. 2, no. 9, pp. 146–149, 2011, [Online]. Available: <http://www.academicjournals.org/JPTAF>
- [38] K. Do Kim, T. J. Lee, and H. T. Kim, “Optimal conditions for synthesis of TiO₂ nanoparticles in semi-batch reactor,” *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 224, no. 1–3, pp. 1–9, 2003, doi: 10.1016/S0927-7757(03)00256-5.
- [39] B. Ma *et al.*, “Magnetic Fe₃O₄ nanoparticles induced effects on performance and microbial community of activated sludge from a sequencing batch reactor under long-term exposure,” *Bioresour. Technol.*, vol. 225, pp. 377–385, 2017, doi: 10.1016/j.biortech.2016.11.130.
- [40] L. Gutierrez, L. Gomez, S. Irusta, M. Arruebo, and J. Santamaria, “Comparative study of the synthesis of silica nanoparticles in micromixer-microreactor and batch reactor systems,” *Chem. Eng. J.*, vol. 171, no. 2, pp. 674–683, 2011, doi: 10.1016/j.cej.2011.05.019.
- [41] O. Sawai, T. Nunoura, and K. Yamamoto, “Supercritical water gasification of sewage sludge using bench-scale batch reactor: Advantages and drawbacks,” *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, vol. 16, no. 1, pp. 82–92, 2014, doi: 10.1007/s10163-013-0144-7.