



DESAIN REAKTOR UNTUK PRODUKSI NANOPARTIKEL ZnO

Annisa Rizky Salsabila ^{a*}, Asep Bayu Dani Nandiyanto ^a, Risti Ragadhita ^a

^a Program Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Pendidikan Indonesia

*E-mail koresponden: annisarizky15@gmail.com

ABSTRACT

The study of reactor design is important because it is one of the necessary steps in process design in industry. In addition, ZnO nanoparticles are also one of the materials with high demand to be produced on an industrial scale because of their wide use. This study aims to design a reactor that will be used to produce zinc oxide (ZnO) nanoparticles using pomegranate peel extract. In designing this reactor, the Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) type design was used, which the main components of reactor consist of a tank and stirrer. To design the tank and stirrer, calculations are carried out using the Microsoft Excel application. From the calculation results, the tank specifications are obtained with a volume of 4,30 ft³, a height of 219,73 in, and a vessel diameter of 73,30 in, with one stirrer having a power of 7,68 HP. Hopefully, this research can be used as a reference in designing reactors that are more efficient, economical, and reliable in ZnO nanoparticle production activities.

Keywords: Reactor, Continuous Stirred Tank Reactor, ZnO nanoparticles

Abstrak

Studi tentang desain reaktor menjadi penting karena merupakan salah satu tahapan yang diperlukan dalam suatu desain proses dalam industri. Di samping itu, nanopartikel ZnO juga merupakan salah satu material dengan permintaan yang tinggi untuk diproduksi dalam skala industri karena kegunaannya yang luas. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain reaktor yang akan digunakan dalam memproduksi nanopartikel seng oksida (ZnO). Dalam mendesain reaktor ini digunakan perancangan tipe *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR), dimana komponen utama reaktor terdiri dari tangki dan pengaduk. Untuk merancang tangki dan pengaduk, perhitungan rancangan dilakukan dengan menggunakan aplikasi Microsoft Excel. Dari hasil perhitungan diperoleh spesifikasi tangki dengan volume 4,30 ft³, tinggi 219,73 in, dan diameter vessel 73,30 in, dengan satu pengaduk berdaya 7,68 HP. Diharapkan penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam merancang reaktor yang lebih efisien, ekonomis, dan handal dalam kegiatan produksi nanopartikel ZnO.

Kata Kunci: Reaktor, Continuous Stirred Tank Reactor, Nanopartikel ZnO

1. PENDAHULUAN

Aplikasi beragam teknologi berbasis nanomaterial telah banyak berkembang selama beberapa dekade terakhir karena nanomaterial memiliki sifat fisik, kimia, dan biologi yang sangat berbeda dibandingkan dengan material berukuran besar [1]. Hal ini membuat tingginya permintaan bahan nano dalam industri global. Karena tingginya permintaan ini, berbagai jenis nanopartikel banyak disintesis untuk beragam aplikasi [2]. Saat ini, nanopartikel Seng Oksida (ZnO) telah menjadi kandidat yang menjanjikan dan mendapat perhatian lebih terutama dalam semikonduktor nano dan pengobatan nano [3, 4], sehingga permintaan akan nanopartikel ZnO untuk bahan baku produksi produk konsumen meningkat. Oleh karena itu, peningkatan produksi produk konsumen akhirnya meningkatkan produksi sintesis nanopartikel ZnO.

Nanopartikel ZnO dapat diproduksi melalui berbagai metode sintesis yang mengembangkannya menjadi berbagai ukuran dan bentuk sehingga dapat digunakan dalam produk komersial. Metode sintesis yang digunakan diantaranya metode sol-gel [5], presipitasi [6], co-presipitasi [7], dan hidrotermal [8]. Di mana, jika metode-metode sintesis tersebut diterapkan dalam produksi skala industri, maka akan diperlukan sebuah reaktor.

Reaktor merupakan sebuah alat di mana bahan baku dapat diubah menjadi produk yang diinginkan karena fungsinya ialah sebagai wadah untuk mereaksikan prekursor serta reagen kimia lainnya [9]. Terdapat berbagai jenis reaktor yang digunakan dalam industri, salah satunya adalah reaktor tipe *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR). CSTR merupakan reaktor yang paling umum digunakan untuk

produksi dalam mode kontinyu karena konfigurasi yang sederhana, penggunaan yang mudah, memberikan pengadukan seragam yang efisien, serta dapat mempertahankan suhu dan pH yang tepat [10]. Mendesain sebuah reaktor merupakan langkah yang penting karena diperlukan dalam suatu desain proses dalam industri.

Nanopartikel ZnO memiliki permintaan produksi yang tinggi dalam skala industri dan reaktor berperan penting dalam proses industri. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini untuk mendesain reaktor tipe CSTR yang akan digunakan dalam memproduksi nanopartikel ZnO. Reaktor tipe CSTR didesain dengan berdasarkan kepada beberapa spesifikasi asumsi dan juga perhitungan yang dilakukan menggunakan aplikasi Microsoft Excel untuk menghasilkan spesifikasi tangki dan pengaduk.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Nanopartikel ZnO

Nanopartikel ZnO merupakan senyawa kimia anorganik dengan diameter di bawah 100 nm [11]. Nanopartikel ZnO menunjukkan struktur kristal wurtzit yang telah banyak digunakan dalam industri karena sifat optoelektriknya yang unik [12]. Nanopartikel ZnO adalah salah satu dari berbagai bahan semikonduktivitas dengan semikonduktor wurtzit elektronik dan fotonik yang khas dengan celah pita lebar (3,37eV) dan energi ikat eksitasi tinggi (60 meV) pada suhu kamar [13]. Hal ini membuat nanopartikel ZnO sangat populer untuk digunakan secara komersial terutama dalam tabir surya dan kosmetik yang mampu memblokir radiasi UV ketika kurang dari 50 nm [14,15]. Selain itu, serapan optik UVA dan UVB yang tinggi dalam nanopartikel ZnO juga bermanfaat sebagai produk antimikroba dalam pengobatan nano [16].

2.2. Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)

Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) merupakan sebuah bejana reaksi di mana umpan terus ditambahkan dan produk terus dikeluarkan sambil terus berlangsungnya proses pengadukan untuk mempertahankan konsentrasi yang seragam di dalam tangki. Cairan dalam CSTR dicampur menggunakan pengaduk mekanis sehingga menghasilkan sistem yang benar-benar tercampur. Untuk tujuan ini maka CSTR terdiri dari tangki yang dilengkapi dengan pengaduk [17]. Asumsi yang dibuat untuk CSTR yang ideal adalah (1) komposisi dan suhu seragam di semua bagian dalam tangki, (2) komposisi efluen sama dengan yang ada di dalam tangki, dan (3) tangki beroperasi pada kondisi tunak [18]. Dengan sifat idealnya CSTR memiliki karakter penting yang dapat memberikan kondisi campuran yang sempurna. Dalam mendesain CSTR, diperlukan penentuan dimensi tangki, impeller, dan pengaduk yang sesuai. Artinya, proporsional tangki, impeller, dan pengaduk harus memiliki keterkaitan satu sama lainnya atau diperhitungkan [17].

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Produksi Nanopartikel ZnO

Pembuatan nanopartikel ZnO diadopsi dari metode sintesis yang dilakukan oleh Srivastava dkk dengan beberapa modifikasi [10]. Larutan seng klorida ($ZnCl_2$) 0,2 M dan amonium hidroksida (NH_4OH) dicampurkan dengan perbandingan 1:1. Campuran reaksi terus diaduk pada suhu kamar sampai terjadi pengendapan sempurna. Endapan dicuci dengan air suling dan kemudian dikeringkan dalam oven udara panas pada 100°C. Lalu endapan yang telah kering dikalsinasi pada suhu 450°C selama 2 jam.

3.2. Model Matematika untuk Desain Reaktor

Dalam mendesain reaktor tipe CSTR dibutuhkan beberapa perhitungan untuk mendapatkan spesifikasi tangki dan pengaduk. Beberapa asumsi spesifikasi untuk tangki dan pengaduk (Tabel 1) juga diperlukan dalam perhitungan. Perhitungan dilakukan dalam aplikasi Microsoft Excel dengan menggunakan Persamaan 1 – 20.

Tabel 1. Asumsi Spesifikasi Tangki dan Pengaduk

Spesifikasi	Tipe/Nilai
Tipe tangki	Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk <i>standard dished</i> dan tutup bawah <i>conical</i> dengan sudut puncak 120°
Suhu operasi	25°C

Tekanan operasi	1 atm
Waktu operasi	1 jam
Bahan konstruksi	Stainless steel SA 240 grade M tipe 316
Allowable stress (f)	18750
Pengelasan	Double welded butt joint, E = 0,8
Faktor korosi (C)	1/16
Tipe pengaduk	Axial turbin 4 blades sudut 45°
Bahan impeller	High alloy steel SA 240 grade M tipe 316
Bahan poros pengaduk	Hot roller steel SAE 1020

Volume total reaktor (V_{total}) dihitung dengan menggunakan Persamaan 1.

$$V_{total} = V_{bahan} + V_{ruang\ kosong} \quad (1)$$

Di mana, volume bahan didapat berdasarkan perhitungan neraca massa dari persamaan reaksi yang terjadi dalam sintesis nanopartikel ZnO. Volume bahan mengisi 80% dari volume total, sedangkan volume ruang kosong mengisi 20%-nya

Diameter vessel (d_i) ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2.

$$V_{total} = \frac{\pi d_i^3}{24 \tan 1/2\alpha} + \frac{\pi d_i^2}{4} \times L_s + 0,0847 d_i^3 \quad (2)$$

Di mana, $\pi = 3,14$, $L_s = 1,5 d_i$, dan $\alpha = 120^\circ$.

Volume liquid dalam silinder (V_{ls}) dihitung menggunakan Persamaan 3.

$$V_{ls} = V_{bahan} - V_{tutup\ bawah} \quad (3)$$

$$V_{tutup\ bawah} = \frac{\pi d_i^3}{24 \tan 1/2\alpha}$$

Di mana, $\pi = 3,14$, d_i = diameter vessel, dan $\alpha = 120^\circ$

Tinggi liquid dalam silinder (L_{ls}) dihitung menggunakan Persamaan 4.

$$L_{ls} = \frac{V_{ls}}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \times d_i^2} \quad (4)$$

Di mana, $\pi = 3,14$, V_{ls} = volume liquid dalam silinder, dan d_i = diameter vessel

Tekanan desain (P_i) ditentukan dengan menggunakan Persamaan 5.

$$P_i = P_{atm} + P_{hidrostatik} \quad (5)$$

$$P_{hidrostatik} = \frac{\rho(HL-1)}{144}$$

Di mana, $P_{atm} = 1$, ρ = densitas campuran bahan, dan $HL = 5,1463$

Tebal silinder (T_s) dapat diperoleh dari Persamaan 6.

$$T_s = \frac{P_i \times d_i}{2(f \cdot E - 0,6P_i)} + C \quad (6)$$

Di mana, P_i = tekanan desain, d_i = diameter vessel, $f = 18750$, $E = 0,8$ dan $C = 1/16$

Tinggi silinder (L_s) diperoleh dengan menggunakan Persamaan 7.

$$V_{\text{total}} = \frac{\pi d_i^3}{24 \tan 1/2\alpha} + \frac{\pi d_i^2}{4} \times L_s + 0,0847 d_i^3 \quad (7)$$

Di mana, L_s = tinggi silinder dan d_i = diameter vessel

Tebal tutup atas (tha) dihitung menggunakan Persamaan 8.

$$tha = \frac{0,885 \times P_i \times d_i}{2(f \cdot E - 0,1P_i)} + C \quad (8)$$

Di mana, P_i = tekanan desain, d_i = diameter vessel, $f = 18750$, $E = 0,8$ dan $C = 1/16$

Tinggi tutup atas (ha) dihitung menggunakan Persamaan 9.

$$ha = 0,169 d_i \quad (9)$$

Di mana, d_i = diameter vessel

Tebal tutup atas (thb) didapatkan dari Persamaan 10.

$$thb = \frac{P_i \times d_i}{2(f \cdot E - 0,6P_i) \cos 1/2\alpha} + C \quad (10)$$

Di mana, P_i = tekanan desain, d_i = diameter vessel, $f = 18750$, $E = 0,8$, $C = 1/16$, dan $\alpha = 120^\circ$

Tinggi tutup bawah (hb) ditentukan dengan menggunakan Persamaan 11.

$$hb = \frac{1/2 d_i}{\tan 1/2\alpha} \quad (11)$$

Di mana, d_i = diameter vessel dan $\alpha = 120^\circ$

Tinggi reaktor (T) dihitung menggunakan Persamaan 12.

$$T = ha + T_s + hb + sf \quad (12)$$

Di mana, ha = tinggi tutup atas, T_s = tebal silinder, hb = tinggi tutup bawah, dan $sf = 2,5$

Untuk menentukan spesifikasi pengaduk, pertama, diameter impeler (Da) dihitung dengan menggunakan Persamaan 13.

$$Da = d_i \times 0,5 \quad (13)$$

Di mana, d_i = diameter vessel

Tinggi impeler (T_a) dari dasar tangki ditentukan dengan menggunakan Persamaan 14.

$$T_a = \frac{1}{3} \times d_i \quad (14)$$

Di mana, d_i = diameter vessel

Panjang impeler (l) diperoleh dari Persamaan 15.

$$l = \frac{1}{4} \times D_a \quad (15)$$

Di mana, D_a = diameter impeller

Lebar impeler (W) didapatkan dari Persamaan 16.

$$W = 0,2 \times D_a \quad (16)$$

Di mana, D_a = diameter impeller

Jumlah pengaduk (n) ditentukan dengan menggunakan Persamaan 17.

$$n = \frac{Lls}{2 \times D_a^5} \quad (17)$$

Di mana, Lls = tinggi liquid dalam silinder, dan D_a = diameter impeller

Daya pengaduk (P) dihitung menggunakan Persamaan 18.

$$P = \frac{\phi \times \rho \times n^3 \times D_a^5}{gc} \quad (18)$$

Di mana, n (putaran pengaduk) = 1,67 rps, $gc = 32,2 \text{ lb.ft/s}^2.\text{lbf}$, dan ϕ (power number) = bernilai 0,9

Diameter poros pengaduk (D) diperoleh dari Persamaan 19.

$$D^2 = \frac{T}{\pi \times S} \quad (19)$$

Di mana, T = tinggi reaktor, $\pi = 3,14$, dan S (maksimum design shering stress yang diijinkan) = 7200 lb in^2

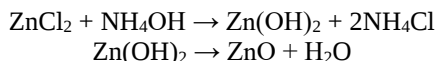
Panjang poros pengaduk (L) didapatkan dengan menggunakan Persamaan 20.

$$L = h + l - Lls \quad (20)$$

Di mana, h = jumlah dari tinggi silinder dan tinggi tutup atas, l = panjang impeller, dan Lls = tinggi liquid dalam silinder.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Reaktor merupakan alat proses dimana berlangsungnya suatu reaksi. Reaktor Tangki Berpengaduk Berkelanjutan atau *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) adalah salah satu tipe reaktor yang dirancang atau dibuat untuk proses-proses penting dalam suatu reaksi kimia. Reaksi kimia yang terjadi dalam pembuatan nanopartikel ZnO adalah sebagai berikut:



Ketika suatu reaksi kimia berlangsung, reaktor tipe CSTR berputar secara kontinyu sehingga larutan dalam reaktor dapat diasumsikan tercampur dengan sempurna [19]. Selain itu, CSTR juga beroperasi pada kondisi tunak dengan temperatur yang mudah dikontrol. Namun, waktu tinggal reaktan di dalam reaktor ditentukan oleh laju aliran umpan yang masuk atau keluar, sehingga waktu tinggalnya sangat terbatas dan sulit untuk diatur mencapai konversi reaktan dengan volume yang tinggi karena membutuhkan reaktor dengan volume yang sangat besar. Hal ini ditunjukkan oleh hasil perhitungan pada spesifikasi tangki reaktor yang didesain memiliki volume sebesar 4.30 ft³, namun volume liquid maksimal yang tinggal dalam reaktor hanya mencapai 3.44 ft³ ketika volume bahan yang masuk adalah 419,82 lb/jam. Di mana, volume bahan ini didasarkan pada perhitungan neraca massa dari persamaan reaksi yang terjadi saat pembuatan nanopartikel ZnO.

CSTR dapat digunakan untuk reaksi homogen (cair-cair), reaksi heterogen (cair-gas), dan reaksi yang melibatkan padatan tersuspensi yang dibantu dengan adanya pengadukan. Pengadukan yang sempurna merupakan hal penting agar dapat meningkatkan kinerja reaktor itu sendiri. Pengadukan yang sempurna ini salah satunya dipengaruhi oleh spesifikasi pengaduk. Oleh karena itu, spesifikasi dari pengaduk juga merupakan hal yang perlu diperhitungkan dengan baik. Pada pengaduk, terdapat sebuah impeler pada bagian ujung. Impeler ini akan membangkitkan pola aliran dalam yang membuat zat cair bersirkulasi di dalam tangki [20]. Spesifikasi impeler yang diperoleh dari hasil perhitungan memiliki diameter 36.65 in, panjang 9.16 in, lebar 7.33 in, dengan jarak antara impeler dengan dasar tangki setinggi 24.43 in.

Diameter impeler dan jarak antara impeler dengan dasar tangki memiliki pengaruh terhadap kecepatan impeler kritis. Kecepatan impeler kritis merupakan kecepatan impeler minimum di mana tidak ada partikel yang diam di dasar tangki selama lebih dari 1 atau 2 detik. Utamanya, jarak antara impeler dengan dasar tangki merupakan hal yang berpengaruh signifikan terhadap kecepatan impeler kritis [21]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Devarajulu dan Loganathan [21], jarak antara impeler dengan dasar tangki yang lebih tinggi, menunjukkan kecepatan impeler kritis yang lebih tinggi untuk menanggulangi padatan, dan efek ini meningkat untuk tinggi liquid atau cairan yang lebih rendah. Berdasarkan hasil perhitungan, tinggi liquid atau cairan dalam silinder relatif rendah (1.41 in) jika dibandingkan dengan tinggi silinder (42.71 in). Meskipun demikian, perlu penelitian lebih lanjut untuk mengetahui bagaimana pengaruh spesifikasi hasil perhitungan ini terhadap hal-hal praktikal seperti kecepatan impeler kritis.

Selain spesifikasi yang berpengaruh terhadap hal-hal praktikal, suatu reaktor pasti diharapkan memiliki ketahanan yang baik untuk dipakai terus menerus dalam jangka waktu yang lama. Resiko yang berkaitan dengan ketahanan seperti ledakan suatu tangki dapat terjadi akibat berbagai faktor, diantaranya fluida kerja yang tidak sesuai dengan fluida desain, lingkungan kerja yang tidak sesuai dengan lingkungan desain, terjadinya keretakan yang diakibatkan oleh adanya beban dinamis, atau tekanan kerja yang melebihi tekanan desain tangki [22]. Oleh sebab itu, tekanan desain merupakan salah satu spesifikasi penting yang perlu diperhitungkan juga. Pada penelitian ini, didapatkan tekanan desain sebesar 2.30 PSIG. Selain berhubungan dengan ketahanan suatu reaktor, tekanan desain juga mempengaruhi spesifikasi seperti ketebalan silinder, tutup atas, serta tutup bawah reaktor.

Adapun hasil perhitungan lengkap untuk spesifikasi tangki dan pengaduk reaktor masing-masing ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Spesifikasi Tangki yang Didesain Berdasarkan Hasil Perhitungan

Spesifikasi	Hasil
Volume reaktor (V_{total})	4.30 ft ³
Diameter vessel (di)	73.30 in
Volume liquid dalam silinder (V_{ls})	3.44 ft ³
Tinggi liquid dalam silinder (L_{ls})	1.41 in

Tekanan design (Pi)	2.30 PSIG
Tebal silinder (ts)	0.06 in
Tinggi silinder (Ls)	42.71 in
Tebal tutup atas (tha)	0.07 in
Tinggi tutup atas (ha)	12.39 in
Tebal tutup bawah (thb)	0.07 in
Tinggi tutup bawah (hb)	21.18 in
Tinggi reaktor (T)	219.73 in

Tabel 3. Spesifikasi Pengaduk yang Didesain Berdasarkan Hasil Perhitungan

Spesifikasi	Hasil
Diameter impeler (Da)	36.65 in
Tinggi impeler dari dasar tangki (Ta)	24.43 in
Panjang impeler (l)	9.16 in
Lebar impeler (W)	7.33 in
Jumlah pengaduk (n)	1 buah
Daya pengaduk (P)	7.68 HP
Diameter poros (D)	1.54 in
Panjang poros (L)	30.91 in

Spesifikasi tangki dan pengaduk yang didesain memiliki dimensi yang relatif tidak terlalu besar. Reaktor dengan ukuran yang relatif tidak terlalu besar ini dapat mengambil keuntungan dari peningkatan efisiensi yang muncul pada skala tersebut, seperti waktu reaksi yang berkurang dan rasio permukaan-volume yang meningkat [23]. Namun demikian, penelitian ini tidak melakukan perhitungan untuk faktor efektivitas sehingga keefektifan dari reaktor tipe CSTR yang didesain ini tidak diketahui secara pasti.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Reaktor yang didesain untuk produksi nanopartikel ZnO adalah tipe *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR). Dari hasil perhitungan menggunakan Microsoft Excel, didapatkan spesifikasi tangki dengan volume 4.30 ft³, tinggi 219.73 in, dan diameter vessel 73.30 in. Di mana, tangki tersebut membutuhkan satu pengaduk dengan daya 7.68 HP. Pada penelitian ini tidak dilakukan perhitungan faktor efektivitas. Hal ini dapat menjadi saran untuk penelitian selanjutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih untuk Universitas Pendidikan Indonesia yang telah menyediakan fasilitas selama berlangsungnya kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Jayachandran, A. T.R., and A. S. Nair, "Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using Cayratia pedata leaf extract," *Biochem. Biophys. Reports*, vol. 26, p. 100995, 2021, doi: 10.1016/j.bbrep.2021.100995.
- [2] M. A. Maurer-Jones, I. L. Gunsolus, C. J. Murphy, and C. L. Haynes, "Toxicity of engineered nanoparticles in the environment," *Anal. Chem.*, vol. 85, no. 6, pp. 3036–3049, 2013, doi: 10.1021/ac303636s.
- [3] V. Sharma, R. K. Shukla, N. Saxena, D. Parmar, M. Das, and A. Dhawan, "DNA damaging potential of zinc oxide nanoparticles in human epidermal cells," *Toxicol. Lett.*, vol. 185, no. 3, pp. 211–218, 2009, doi: 10.1016/j.toxlet.2009.01.008.
- [4] S. Talam, S. R. Karumuri, and N. Gunnam, "Synthesis, Characterization, and Spectroscopic Properties of ZnO Nanoparticles," *ISRN Nanotechnol.*, vol. 2012, pp. 1–6, 2012, doi: 10.5402/2012/372505.

- [5] V. Srivastava, D. Gusain, and Y. C. Sharma, "Synthesis, characterization and application of zinc oxide nanoparticles (n-ZnO)," *Ceram. Int.*, vol. 39, no. 8, pp. 9803–9808, 2013, doi: 10.1016/j.ceramint.2013.04.110.
- [6] H. R. Ghorbani, F. P. Mehr, H. Pazoki, and B. M. Rahmani, "Synthesis of ZnO nanoparticles by precipitation method," *Orient. J. Chem.*, vol. 31, no. 2, pp. 1219–1221, 2015, doi: 10.13005/ojc/310281.
- [7] S. V. M. Goorabjavari *et al.*, "Thermodynamic and anticancer properties of inorganic zinc oxide nanoparticles synthesized through co-precipitation method," *J. Mol. Liq.*, vol. 330, 2021, doi: 10.1016/j.molliq.2021.115602.
- [8] B. Bulcha *et al.*, "Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles by Hydrothermal Methods and Spectroscopic Investigation of Ultraviolet Radiation Protective Properties," *J. Nanomater.*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/8617290.
- [9] A. K. Coker, *Industrial and Laboratory Reactors – Chemical Reaction Hazards and Process Integration of Reactors*. 2015. doi: 10.1016/b978-0-08-094242-1.00021-8.
- [10] G. D. Saratale, R. G. Saratale, J. R. Banu, and J.-S. Chang, *Biohydrogen Production From Renewable Biomass Resources*. Elsevier B.V., 2019. doi: 10.1016/b978-0-444-64203-5.00010-1.
- [11] Z. U. H. Khan *et al.*, "Greener synthesis of zinc oxide nanoparticles using Trianthema portulacastrum extract and evaluation of its photocatalytic and biological applications," *J. Photochem. Photobiol. B Biol.*, vol. 192, pp. 147–157, 2019, doi: 10.1016/j.jphotobiol.2019.01.013.
- [12] H. Ma, P. L. Williams, and S. A. Diamond, "Ecotoxicity of manufactured ZnO nanoparticles - A review," *Environ. Pollut.*, vol. 172, pp. 76–85, 2013, doi: 10.1016/j.envpol.2012.08.011.
- [13] A. Kolodziejczak-Radzimska and T. Jesionowski, "Zinc oxide-from synthesis to application: A review," *Materials (Basel)*, vol. 7, no. 4, pp. 2833–2881, 2014, doi: 10.3390/ma7042833.
- [14] I. Blinova, A. Ivask, M. Heinlaan, M. Mortimer, and A. Kahru, "Ecotoxicity of nanoparticles of CuO and ZnO in natural water," *Environ. Pollut.*, vol. 158, no. 1, pp. 41–47, 2010, doi: 10.1016/j.envpol.2009.08.017.
- [15] L. C. Wehmas *et al.*, "Comparative metal oxide nanoparticle toxicity using embryonic zebrafish," *Toxicol. Reports*, vol. 2, pp. 702–715, 2015, doi: 10.1016/j.toxrep.2015.03.015.
- [16] S. Gunalan, R. Sivaraj, and V. Rajendran, "Green synthesized ZnO nanoparticles against bacterial and fungal pathogens," *Prog. Nat. Sci. Mater. Int.*, vol. 22, no. 6, pp. 693–700, 2012, doi: 10.1016/j.pnsc.2012.11.015.
- [17] S. Reactor, "Comparative analysis of the efficiency and the methanogens composition in Upflow Anaerobic Sludge Blanket and continuous," 2012.
- [18] P. Kumar, P. Verma, R. Singh, and R. K. Patel, "Proceeding of International Conference on Intelligent Communication, Control and Devices," pp. 979–989, 2016, doi: 10.1007/978-981-10-1708-7.
- [19] F. Isdaryani, "Desain Pengendali pH pada Continous Stirred Tank Reactor (CSTR) menggunakan Kontrol Fuzzy," *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 10, no. 1, pp. 115–120, 2019, [Online]. Available: <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/1379>
- [20] A. Azalia, "Rancang bangun alat reaktor pulp (pengaruh temperatur pemasakan terhadap kualitas pulp)" Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, 2016.
- [21] C. Devarajulu and M. Loganathan, "Effect of impeller clearance and liquid level on critical impeller speed in an agitated vessel using different axial and radial impellers," *J. Appl. Fluid Mech.*, vol. 9, no. 6, pp. 2753–2761, 2016, doi: 10.29252/jafm.09.06.24824.
- [22] Y. Chandra Dwiaji, L. Aji Saputra, and F. Setiawan, "PERANCANGAN REAKTOR KAPASITAS 12 m³ UNTUK EPOXY RESIN DENGAN TEKANAN KERJA 3,8 kg/cm² DAN TEMPERATUR KERJA 150°C," *Tek. STTKD J. Tek. Elektron. Engine*, vol. 7, no. 1, pp. 64–78, 2021, doi: 10.56521/teknika.v7i1.301.
- [23] C. Rensch *et al.*, "Microfluidics: A groundbreaking technology for PET tracer production?," *Molecules*, vol. 18, no. 7, pp. 7930–7956, 2013, doi: 10.3390/molecules18077930.