

RANCANGAN *CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR* UNTUK SINTESIS NANOPARTIKEL WO_3

Maya Lianawati^{1*}, Asep Bayu Dani Nandiyanto², Meli Fiandini³, Risti Ragadhita⁴
^{1,2,3,4}Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia
*Email mayalianawati@upi.edu

Abstract

This research aim to develop a continuous stirred tank reactor (CSTR) in the meant to produce WO_3 nanoparticles. A manual calculations was done using Microsoft Excel. The result obtained CSTR with a tank designed with volume 1301.14 m³ volume, height 1.26 m, and 1.19 designed hydrostatic pressure. The reactor also equipped with 1 stirrer with length 0.23 m and width 0.18 m. This study expected to be useful reference for production of WO_3 nanoparticles in industrial scale.

Keywords : CSTR, Reactor, Tungsten oxide

1. PENDAHULUAN

Tungsten oksida (WO_3) adalah salah satu bahan semikonduktor dengan *band gap* fleksibel yang dapat digunakan untuk membuat sensor gas, fotokatalis, perangkat energi matahari, dioda pemancar cahaya (Hariharan et al., 2021; Sánchez-Martínez et al., 2013; Santos et al., 2016; Surakasi et al., 2022; Tahir et al., 2017; Y. Yao et al., 2021). Material ini memiliki stabilitas yang baik dalam larutan *aqueous* pada kondisi asam (Jeevitha et al., 2018). Untuk mensintesis nanomaterial WO_3 , beberapa metode telah dilaporkan untuk dapat mensintesis nanomaterial WO_3 dengan tujuan dapat meningkatkan sifat yang dimiliki material, beberapa metode yang umum adalah metode hidrotermal (Al Marzouqi et al., 2021; Santos et al., 2016; Y. R. Yao et al., 2013), sol-gel (Kanan & Tripp, 2007; Mohamed et al., 2020), dan presipitasi (Luévano-hipólito et al., 2014). Metode presipitasi merupakan metode yang mudah dan murah jika dibandingkan dengan metode lainnya (Adhikari & Sarkar, 2015). Namun untuk menghasilkan nanopartikel WO_3 dalam skala industri diperlukan ruang yang lebih besar sehingga reaksi kimia dapat terjadi. Salah satu alat yang dapat digunakan dalam pembuatan WO_3 pada skala industry ini adalah reaktor.

Continuous stirred tank reactor (CSTR) merupakan peralatan kimia yang memegang

peranan penting dalam proses industri kimia, reaktor ini biasanya memiliki rentang operasi yang luas (Jingjing et al., 2007). CSTR telah lama digunakan dalam industri manufaktur berkelanjutan seperti makanan, otomotif, dan petrokimia karena biaya produksi yang rendah dengan efisiensi dan stabilitas yang tinggi. Reaktor jenis kontinyu ini memungkinkan reaktan dan pelarut untuk terus diisi ke dalam sistem dan terus mengeluarkan produk dari sistem selama proses berlangsung (Hu, 2021). Pada sistem CSTR, reaktan dimasukkan ke dalam tangki sedangkan pengaduk digunakan untuk mencampur reaktan, suhu reactor kemudian dipertahankan konstan (Wei et al., 2018).

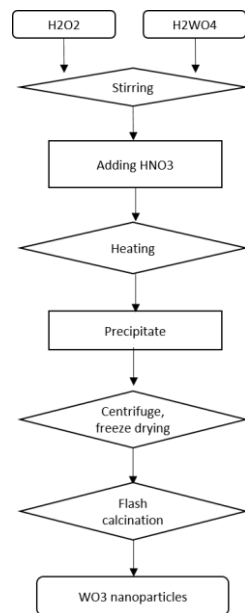
Pada penelitian ini, untuk mengoptimalkan sintesis nanopartikel WO_3 perlu dilakukan perancangan rancangan reaktor yang efisien dan akurat dengan tujuan untuk mengoptimalkan produksi WO_3 dalam skala industri.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Sintesis Nanopartikel WO_3

Sintesis nanopartikel tungsten trioksida (WO_3) dalam Adhikari et al (2017) dilakukan dengan metode *solution-precipitation*. Serbuk asam tungstat padat direaksikan dengan larutan hidrogen peroksida. Bejana reaksi dipertahankan pada $90 \pm 5^\circ C$ kemudian asam nitrat pekat ditambahkan sebagai

katalis reaksi hingga pH~1. Setelah itu, endapan kuning kehijauan yang terbentuk diisolasi dengan sentrifugasi pada 14.000 rpm diikuti *freeze drying* pada suhu -52°C dengan kondisi vakum. Serbuk yang diperoleh kemudian kembali diisolasi dan dikalsinasi pada suhu 500°C selama 5 menit (Adhikari et al., 2014, 2017). Gambar 1 menunjukkan diagram alir sintesis nanopartikel WO₃ dengan metode *solution-precipitation*.



Gambar 1. Sintesis nanopartikel WO₃ menggunakan metode *solution-precipitation*

Sifat-sifat reaktan, katalis, dan produk yang digunakan dalam sintesis nanopartikel WO₃ tercantum pada **Tabel 1**. Sifat-sifat tersebut kemudian digunakan dalam rancangan *continues stirred tank reactor* (CSTR) dengan reaksi yang berlangsung pada suhu 90°C.

Tabel 1. Sifat reaktan, katalis, dan produk pada sintesis nanopartikel WO₃

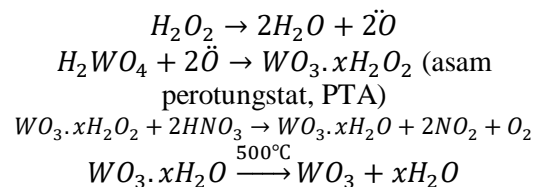
		Massa molar (g/mol)	Densitas (g/cm ³) @ 20°C 1 atm	Jumlah (Ton per siklus)
Reaktan	H ₂ WO ₄	249,84	1,83	5,00
	H ₂ O ₂	34	1,11	14,50
	WO ₃	231,84	7,16	-
Produk	H ₂ O	18	1,00	-
	NO ₂	46	1,88	-
	O ₂	32	1,43	-
Katalis	HNO ₃	63	1,21	18,12

2.2 Model Matematika

Model reaktor CSTR diasumsikan memiliki kapasitas reaktan sebesar 37,62 ton/jam yang berarti akan mengkonsumsi 300 ton reaktan/hari atau sekitar 920.000 ton reaktan/tahun. Perhitungan manual dilakukan dengan menggunakan Microsoft Excel untuk menentukan berbagai dimensi reaktor CSTR yang dirancang, parameter yang dihitung tercantum pada **Tabel 2**.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Reaksi utama sintesis WO₃ diberikan oleh persamaan kimia di bawah ini:



Berdasarkan persamaan tersebut diketahui bahwa reaksi yang terdiri dari asam tungstat yang direaksikan dengan hidrogen peroksida dan dikatalisis oleh asam nitrat akan membentuk partikel nano tungsten trioksida sebagai produk utama. Persamaan kimia juga digunakan untuk menentukan neraca massa reaksi pada reaktor yang dirancang, jumlah reaktan dan produk tercantum pada **Tabel 3**.

Tabel 2. Perhitungan untuk parameter reaktor

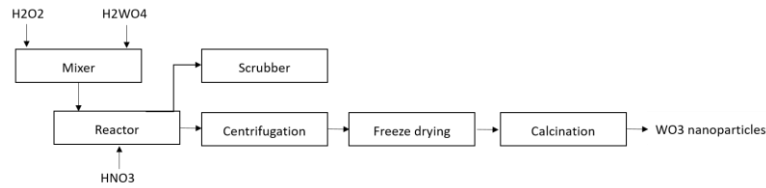
Bagian	Parameter	Persamaan	Persamaan
Tangki Reaktor	Volume reaktor (Vtotal)	$V_{total} = \frac{\text{Incoming material volume}}{0,8}$	(1)
	Volume cairan dalam silinder (Vls)	$Vls = V_{liquid} - V_{top\ lid}$	(2)
	Tinggi cairan dalam silinder (L ls)	$L\ ls = \frac{V\ ls}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \times di^2}$	(3)
	Tekanan desain (Pi)	$pi = p_{hydrostatic} (psia) + p_{operation} (psia)$	(4)
	Ketebalan silinder (Ts)	$ts = \frac{pi \times di}{2(f.E - 0,6pi)} + C$	(5)
	Tinggi silinder (Ls)	$V_{total} = \frac{\pi di^3}{24 \tan 1/2\alpha} + \frac{\pi di^2}{4} \times Ls \times 0,0847 di^3$	(6)
	Ketebalan penutup atas (tha)	$tha = \frac{0,885 \times pi \times di}{2 (f.E - 0,1 pi)} + C$	(7)
	Tinggi penutup atas (ha)	$ha = 0,169 di$	(8)
	Ketebalan penutup bawah (thb)	$thb = \frac{pi \times di}{2 (f.E - 0,6 pi) \cos 1/2\alpha} + C$	(9)
	Tinggi penutup bawah (hb)	$hb = \frac{1/2d}{\tan 1/2\alpha}$	(10)
	Diameter impeler (Da)	$Da = Dt \times 0,5$ Dt= diameter dalam silinder	(11)
	Tinggi impeler dari dasar tangki (C)	$C = \frac{1}{3} \times Di$ Di= diameter vessel	(12)
	Panjang impeler (L)	$L = \frac{1}{4} \times Da$	(13)
	Lebar impeler (W)	$W = 0,20 \times Da$	(14)
	Jumlah pengaduk (n)	$n = \frac{H\ liquid}{2 \times Da^5}$	(15)

Pembuatan nanopartikel WO₃ secara kontinyu dapat dilakukan menggunakan reaktor kontinyu yang sesuai. Dalam reaktor kontinyu, bahan baku dan pelarut dimasukkan secara terus-menerus ke dalam reaktor dibagian awal dan produk secara kolektif diambil secara terus-menerus dibagian akhir.

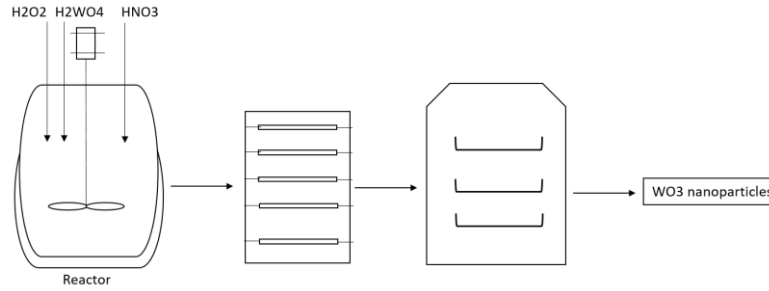
Continuous stirred tank reactor (CSTR) yang dirancang memiliki dua bagian utama yaitu tangki dan pengaduk. Untuk menghasilkan nanopartikel WO₃, kedua bagian ini kemudian dirancang khusus. Dalam reaktor tempat berlangsungnya reaksi, suhu, konsentrasi, dan kecepatan reaksi akan sama di semua posisi reaktor. Untuk sintesis

nanopartikel WO₃, reaksi dilakukan dalam reaktor pada suhu 90°C dengan tekanan 1 atm. Spesifikasi keseluruhan reaktor yang dihitung dengan Microsoft Excel tercantum pada **Tabel 4**, spesifikasi ini dirancang untuk memenuhi persyaratan berdasarkan neraca massa yang dihitung pada **Tabel 3**.

Reaksi mengikuti proses eksotermik, oleh karena itu untuk hasil yang lebih optimal disarankan pula penggunaan *heat exchanger* pada saat proses operasi (Adhikari et al., 2017). Dari hasil perhitungan, rancangan reaktor untuk sintesis WO₃ ditunjukkan pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**.



Gambar 2. Diagram sintesis nanopartikel WO₃



Gambar 3. FDP sintesis nanopartikel WO₃

Tabel 3. Perhitungan neraca massa sintesis nanopartikel WO₃

Komponen	Masuk			Keluar		
	massa (kg)	mol	fr mol	mol	fr mol	massa (kg)
H ₂ WO ₄	5.000	20.01	0,03	1.00	0,00	250.0
H ₂ O ₂	14.500	426.47	0,58	407.46	0,52	13.853,6
HNO ₃	18.120	287.62	0,39	249.60	0,32	15.724,6
WO ₃	-	-	-	19.01	0,02	4.407,6
NO ₂	-	-	-	38.02	0,05	1.749,0
O ₂	-	-	-	19.01	0,02	608.4
H ₂ O	-	-	-	57.03	0,07	1.026,6
Total	37.620					37.620

Tabel 4. Dimensi rancangan reaktor untuk sintesis nanopartikel WO₃

No	Parameter	Nilai
1	Volume Reaktan (m ³)	1301.14
2	Volume Reaktor (m ³)	1626.43
3	Diameter Tangki (m)	1.86
4	Tinggi Reaktor (m)	1.26
5	Tekanan Hidrostatik Cair (atm)	0,19
6	Desain Tekanan Hidrostatik (atm)	1.19
7	Ketebalan Tangki (dalam)	0,07
8	Diameter Luar (m)	1.86
9	Ketebalan Atas (dalam)	0,07
10	Tinggi Atas (m)	0,31
11	Ketebalan Dasar (dalam)	0,08
12	Tinggi Dasar (m)	0,53

13	Diameter Pengaduk (m)	0,93
14	Tinggi Cairan dalam Pengadukan (m)	0,30
15	Jarak Pengaduk dari Dasar Tangki (m)	0,62
16	Panjang Pengaduk (m)	0,23
17	Lebar Pengaduk (m)	0,18
18	Jumlah Pengaduk (pcs)	1

4. SIMPULAN

Continuous stirred tank reactor (CSTR) kali ini dirancang untuk memproduksi nanopartikel WO₃ dalam skala industri. Reaktor diasumsikan memiliki kapasitas reaktan sebesar 37,62 ton/jam. Dari hasil perhitungan manual dengan Microsoft Excel, rancangan reaktor memiliki volume 1301,14 m³, tinggi 1,26 m, dan tekanan hidrostatik 1,19. Reaktor ini juga dilengkapi dengan 1 pengaduk yang memiliki panjang 0,23 m dan lebar 0,18 m.

5. REFERENSI

- Adhikari, S., Mandal, S., Sarkar, D., Kim, D., & Madras, G. (2017). Applied Surface Science Kinetics and mechanism of dye adsorption on WO₃ nanoparticles. *Applied Surface Science*, 420, 472–482. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.05.191>
- Adhikari, S., & Sarkar, D. (2015). Confined Growth of WO₃ for High-Performance Electrochromic Device. *Key Engineering Materials*, 659, 583–587. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.659.583>
- Adhikari, S., Sarkar, D., & Maiti, H. S. (2014). Synthesis and Characterization of WO₃ Spherical Nanoparticles and Nanorods. *Materials Research Bulletin*, 49, 325–330. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2013.08.028>
- Al Marzouqi, F., Al-balushi, N. A., Kuvarega, A. T., Karthikeyan, S., & Selvaraj, R. (2021). Thermal and hydrothermal synthesis of WO₃ nanostructure and its optical and photocatalytic properties for the degradation of Cephalexin and Nizatidine in aqueous solution. *Materials Science & Engineering B*, 264(July 2020), 114991. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2020.114991>
- Hariharan, V., Gnanavel, B., Sathiyapriya, R., Aroulmoji, V., Hariharan, V., Gnanavel, B., Sathiyapriya, R., Review, V. A. A., Wo, O., Hariharan, V., Gnanavel, B., Sathiyapriya, R., & Aroulmoji, V. (2021). A Review on Tungsten Oxide (WO₃) and their Derivatives for Sensor Applications. *International Journal of Advanced Science and Engineering*, 5, 1163–1168. <https://doi.org/10.29294/ijase.5.4.2019.1163-1168>
- Hu, C. (2021). Reactor design and selection for effective continuous manufacturing of pharmaceuticals. *Journal of Flow Chemistry*, 11(3), 243–263.
- Jeevitha, G., Abhinayaa, R., Mangalaraj, D., & Ponpandian, N. (2018). Journal of Physics and Chemistry of Solids Tungsten oxide-graphene oxide (WO₃-GO) nanocomposite as an efficient photocatalyst, antibacterial and anticancer agent. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 116, 137–147. <https://doi.org/10.1016/j.jpccs.2018.01.021>
- Jingjing, D. U., Chunyue, S., & Ping, L. I. (2007). Modeling and Control of a Continuous Stirred Tank Reactor Based on a Mixed Logical Dynamical Model. *Chin. Journal of Chemistry Engineering*, 15(60404018), 533–538.
- Kanan, S. M., & Tripp, C. P. (2007). Synthesis, FTIR studies and sensor properties of WO₃ powders. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 11, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.cossms.2007.11.001>
- Luévano-hipólito, E., Cruz, A. M., Yu, Q. L., & Brouwers, H. J. H. (2014). Precipitation synthesis of WO₃ for NO_x removal using PEG as template. *Ceramics International*, 40, 12123–12128. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.04.052>
- Mohamed, F. B., Ali, B. M., & Nageib, R. M.

- (2020). *Synthesis and Characterization of Nanostructured Tungsten Trioxide. 1*(1), 49–56.
- Sánchez-Martínez, D., Martínez-De La Cruz, A., & López-Cuéllar, E. (2013). Synthesis of WO₃ nanoparticles by citric acid-assisted precipitation and evaluation of their photocatalytic properties. *Materials Research Bulletin*, 48(2), 691–697. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2012.11.024>
- Santos, L., Silveira, C. M., Elangovan, E., Neto, J. P., Nunes, D., Pereira, L., Martins, R., Viegas, J., Moura, J. J. G., Todorovic, S., Almeida, M. G., & Fortunato, E. (2016). Synthesis of WO₃ nanoparticles for biosensing applications. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 223, 186–194. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.09.046>
- Surakasi, R., Rao, Y. S., Sanuj, A. K., Patil, P. P., Jayaganthan, A., & Hechhu, R. (2022). Methylene Blue Dye Photodegradation during Synthesis and Characterization of WO₃ Nanoparticles. *Adsorption Science & Technology*, 2022, 1–10.
- Tahir, M. B., Sagir, M., Rafique, M., Abbas, I., Shakil, M., Khan, I., Afsheen, S., Hasan, A., & Ahmad, A. (2017). WO₃ Nanostructures-Based Photocatalyst Approach Towards Degradation of RhB Dye. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*. <https://doi.org/10.1007/s10904-017-0771-x>
- Wei, Z., Liu, H., He, H., Jun, Y., & Li, T. (2018). Neuro-Optimal Tracking Control for Continuous Stirred Tank Reactor With Input Constraints. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(8), 4516–4524. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2884214>
- Yao, Y. R., Ma, R., & Song, X. C. (2013). Hydrothermal Synthesis of tungsten oxide nanoparticles. *Applied Mechanics and Materials*, 270, 176–179. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.268-270.176>
- Yao, Y., Sang, D., Zou, L., & Wang, Q. (2021). A Review on the Properties and Applications of WO₃ Nanostructure-Based Optical and Electronic Devices. *Nanomaterials*, 11, 2136.