

Design of Batch Reactor for The Production of CuO Nanoparticles

Raden Melvin Fauzan Idat¹, Asep Bayu Dani Nandiyanto², Risti Ragadhita¹

/Universitas Pendidikan Indonesia
Jl. Dr. Setiabudhi No. 229, Bandung, Indonesai

*Corresponding Email: nandiyanto@upi.edu

ABSTRACT

The objective of this project is to develop batch reactor designs for the production of CuO particles. The computational analysis and calculation of the reactor and its stirrer were used in this study, including calculations of the volume, height, thickness, number of stirrers, pendorong length and diameter, and mass balance. The Microsoft Excel application was used to perform the reactor design calculations. According to the calculated values of the batch reactor design in the CuO process of production, the reactor has a volume of 20.5254 ft³ and a height of 5.0738 ft. The reactor has one stirrer with four blades and a power of one horsepower. The results of this computation and analysis could be used to improve and compare reactor performance in a manufacturing process as a learning medium and producing mechanism

Keywords: Batch Reactor; CuO; Mass Balance; Production

ABSTRAK

Tujuan dari perencanaan ini adalah untuk mengembangkan desain *batch reactor* pada produksi partikel CuO. Dilakukan analisis komputasional dan perhitungan dari reaktor dan pengaduk meliputi perhitungan volume, tinggi, ketebalan, jumlah pengaduk, panjang dan diameter pendorong, dan neraca massa. Digunakan perangkat lunak Microsoft Excel untuk melakukan perhitungan desain reaktor. Berdasarkan perhitungan, volume reaktor adalah 20.5254 kaki, dan tinggi 5.0738 kaki. Reaktor ini mempunyai satu pengaduk dengan empat mata pengaduk dan tenaga satu kuda. Hasil dari komputasi dan analisis yang telah dilakukan dapat digunakan untuk pengembangan dan komparasi performa reaktor pada proses manufaktur sebagai media pembelajaran.

Kata Kunci: Batch Reactor; CuO; Neraca Massa; Produksi

1. PENDAHULUAN

Ada banyak oksida logam di alam, tetapi hanya beberapa oksida logam yang paling berguna dalam penggunaannya di bidang sains dan teknologi. Beberapa oksida logam transisi, seperti ZnO, Fe₃O₄, dan TiO₂ telah terbukti menjadi pilihan yang cocok untuk berbagai aplikasi. CuO adalah oksida logam berguna lainnya yang memiliki banyak aplikasi di berbagai bidang. Nanopartikel CuO istimewa karena mereka berperilaku seperti semikonduktor ketika direduksi ke skala nano [1].

Sintesis CuO adalah salah satu bagian yang perlu dibahas pada studi ini. Cupric oxide atau CuO, adalah semikonduktor tipe p (celah pita tidak langsung pada 1,2 hingga 1,5 eV) yang telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sensor gas, field emission [FE] emitter, bahan elektroda aktif untuk baterai Li-ion, sel surya [2]–[5], perangkat penyimpanan magnetik [6], konduktor super dengan t_c tinggi [7], sel elektrokimia [8], cairan nano [9], sensor gas [10], dan katalis [11].

Banyak metode untuk memproduksi kawat nano atau batang nano CuO yang telah dikembangkan hingga saat ini, termasuk rute hidrotermal, litografi berkas elektron, thermal oxidation of copper foil, arc discharge, sintesis uap-cair-padat, aqueous reaction, ablasi laser, solution-liquid-solid synthesis, dekomposisi termal prekursor, dan sintesis dengan bantuan template [12]–[17].

Untuk memproduksi CuO dalam skala industri diperlukan batch reactor. Batch reactor adalah bejana yang menampung zat dan memungkinkannya larut dan bereaksi dengan baik untuk mencapai hasil yang diinginkan. Dalam batch reactor yang ideal, jumlah, efisiensi, tekanan, dan suhu semuanya seharusnya sama persis pada waktu tertentu [18].

Banyak penelitian tentang analisis dan desain batch reactor telah dilakukan, termasuk reaktor untuk etanol lignoselulosa [19], gula [20], biodiesel [21], nanokomposit Fe₃O₄/ZnO [22], ZnO-Mn [23], minyak biji anggur [24], ekstraksi tembaga [25], fruktooligosakarida rantai pendek [26], produksi

daging [27], adsorben nanomaterial [28], karbonisasi biomassa [29], dan polimerisasi anionik isoprena [30].

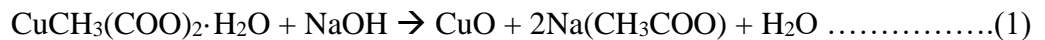
Batch reactor memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan dengan jenis desain reaktor lainnya, yaitu mudah dibangun, dioperasikan, dan dikendalikan, dapat dibentuk untuk memenuhi kebutuhan tertentu. Batch reactor juga membutuhkan lebih sedikit jaringan pipa dan saluran daripada teknik lainnya, satu bak dapat digunakan untuk homogenisasi, dan umumnya lebih murah [31].

Artikel ini menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel untuk menyelesaikan analisis komputasi dan perhitungan reaktor, pengaduknya, dan neraca massa untuk meningkatkan produksi CuO pada tingkat industri..

2. METODE

2.1. Sintesis partikel CuO

Ethiraj & Kang [32] menggunakan tembaga asetat [$\text{CuCH}_3(\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$] dan natrium hidroksida [NaOH] sebagai prekursor pada percobaan untuk produksi nanopartikel CuO. Dipreparasi tembaga asetat (0.5 M) dalam air terdeionisasi [DI] dan NaOH (5 M) dalam air DI. Tembaga asetat bereaksi dengan NaOH dalam larutan dan membentuk kawat nano CuO, dengan reaksi yang ditunjukkan pada persamaan 1.



2.2. Model matematika untuk desain reaktor

Reaktor dibangun dari baja tahan karat SA 240 Grade M Tipe 316 dan memiliki tipe silinder vertikal dengan tutup atas standar cekung dan bungkus bawah kerucut dan sudut puncak 120, sedangkan pengaduk terbuat dari Baja *High Alloy* SA 240 Grade Tipe M 316 dan memiliki sudut sudut sudu turbin tipe 4 sebesar 45°. Asumsi untuk persyaratan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Asumsi spesifikasi desain dari reaktor dan pengaduk.

Spesifikasi	Keterangan
Jenis reaktor	Silinder tegak dengan penutup atas standar berbentuk piring dan penutup bawah berbentuk kerucut dengan sudut puncak 120°
Jenis pengaduk	Turbin axial dengan 4 pendorong sudut 45°
Bahan pendorong pengaduk	<i>High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316</i>
Bahan poros pengaduk	<i>Hot Roller Steel SAE 1020</i>
Suhu	25°C
Tekanan	1 atm
Waktu operasi	1 jam
Bahan konstruksi	<i>Stainless steel SA 240 Grade M Type 316</i>
Tekanan yang diperbolehkan (<i>f</i>)	18750
Pengelasan	<i>Double-welded butt joint</i>
Faktor korosi	0,0625

Jumlah muatan	1075.5059 lb/jam
Laju volumetrik	16.4203 ft ³ /jam

Dengan waktu operasi selama 1 jam, suhu kerja dan tekanan reaktor diset pada 25°C dan 1 atm secara berurutan. Jumlah keseluruhan dari bahan yang masuk ke dalam reaktor adalah 1075.5059 lb/jam. Dilakukan analisis neraca massa secara manual menggunakan Microsoft Excel, dan didapat data spesifikasi pada Tabel 2.

Tabel 2. Kalkulasi dari paramater reaktor dan pengaduk.

Bagian	Parameter	Persamaan	Eq.
		V_r	
	Volume total dari reaktor	$= \text{vol. prekursor} + 20\% \times \text{vol. ruang kosong}$ dimana, $V_r = \text{total vol. reaktor (ft}^3\text{)}$ $V_r = V_{\text{tutup bawah}} + V_{\text{silinder}} + V_{\text{tutup atas}}$	(1)
	Dimensi vessel	$V_r = \left(\frac{\pi d_i^3}{24 \tan\left(\frac{1}{2}\alpha\right)} \right) + \left(\frac{\pi d_i^2}{4} \times H_c \right) + 0.0847 d_i^3$ dimana, $V_r = \text{total vol. reaktor (ft}^3\text{)}$ $d_i = \text{dimensi vessel (in)}$ $\alpha = 120^\circ$ $H_c = \text{asumsi tinggi silinder} = 1.5 d_i$ $V_{lc} = V_{\text{cairan}} - V_{\text{tutup bawah}}$	(2)
Dimensi reaktor	Volume dari cairan pada silinder (V_{lc})	dimana, $V_{lc} = \text{Volume cairan pada silinder (ft}^3\text{)}$	(3)
	Tinggi dari cairan pada silinder (H_{lc})	$H_{lc} = \frac{V_{lc}}{\left(\frac{\pi d_i^2}{4}\right)}$ dimana, $H_{lc} = \text{tinggi cairan pada silinder (in)}$ $V_{lc} = \text{volume cairan pada silinder (in}^3\text{)}$ $d_i = \text{dimensi vessel (in)}$ $P_i = P_{\text{atm}} + P_{\text{hidrostatik}}$	(4)
	Desain tekanan	$P_i = 14.7 \text{ psia} + \left(\frac{\rho(H_{lc} - 1)}{144} \right) \text{ psia}$ dimana, $P_i = \text{tekanan dari desain (psig)}$ $H_{lc} = \text{tinggi cairan pada silinder (ft)}$	(5)
	Ketebalan silinder dan standardisasi d_o	$t_c = \frac{P_i \times d_i}{2(f \times E - 0.6P_i)} + C$ dimana, $d_o = d_i + 2t_c$	(6)

P_i = tekanan dari desain (psig)
 d_i = dimensi vessel (in)
 f = tekanan yang diperbolehkan = 18750
 $E = 0.8$
 C = faktor korosi = 0.0625
 d_i = dimensi vessel (ft)
 $H_c = 2 \times d_i$

Tinggi silinder (H_c) Dimana, (7)

H_c = Height of cylinder = (in)
 d_i = Dimensi vessel (in)

$$th_t = \frac{0.885 \times P_i \times d_i}{2(f \times E - 0.1P_i)} + C$$

$$h_t = 0.169 \times d_i$$

Dimensi tutup bagian atas

Dimana, (8)

th_t = ketebalan tutup atas (in)
 h_t = tinggi tutup atas (in)
 P_i = tekanan dari desain (psig)
 d_i = dimensi vessel (in)
 C = faktor korosi = 0.0625

$$th_b = \frac{P_i \times d_i}{2(f \times E - 0.16) \cos\left(\frac{1}{2}\alpha\right)} + C$$

Dimensi tutup bagian bawah

$$h_b = \frac{\frac{1}{2}h_t}{\tan\left(\frac{1}{2}\alpha\right)} \quad (9)$$

Dimana,
 th_b = ketebalan tutup bawah (in)
 h_b = tinggi tutup bawah (in)
 h_t = tinggi tutup atas (in)
 $\alpha = 120^\circ$

$$H_r = h_t + H_c + h_b + S_f$$

Tinggi reaktor (H_r) Dimana, (10)

H_r = tinggi reaktor (ft)
 h_t = tinggi tutup atas (in)
 H_c = tinggi cylinder = (in)
 h_b = tinggi tutup bawah (in)
 $S_f = 2.5$

Pengaduk

Diameter pendorong (D_a)

$$\frac{D_a}{D_t} = 0.5$$

Dimana,
 D_a = diameter pendorong (ft)
 D_t = diameter dalam silinder (ft)

(11)

$$\frac{Z_i}{D_t} = \frac{1}{3}$$

Tinggi pendorong dari bawah tangki (Z_i)

Dimana,
 Z_i = tinggi pendorong dari bawah tangki(ft)
 D_t = diameter dalam silinder (ft)

(12)

$$\frac{l}{D_a} = \frac{1}{4}$$

Panjang pendorong (l)

Dimana,
 l = panjang pendorong (ft)
 D_a = diameter pendorong (ft)

(13)

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$$

Lebar pendorong (W)

Dimana,
 W = lebar pendorong (ft)
 D_a = diameter pendorong (ft)

(14)

$$n = \frac{H_{lc}}{2 \times D_a^2}$$

Jumlah pengaduk (n)

Dimana,
 n = jumlah pengaduk
 H_{lc} = tinggi cairan (ft)
 D_a = diameter pendorong (ft)

(15)

$$P = \frac{\varphi \times \rho \times N^3 \times D_a^5}{g_c}$$

Kekuatan pengaduk (H)

Dimana,
 P = kekuatan pengaduk (Hp)
 φ = angka kekuatan = 0.9
 ρ = massa jenis campuran (lb/ft³)
 $g_c = 32.2 \text{ lb.ft/s}^2.\text{lbf}$
 N = rotasi pengaduk = 100 rpm = 100 rps

(16)

$$H = (0.1 + 0.15)P + P$$

Dimana,
 H = kuat pengaduk yang dibutuhkan (Hp)
 0.1 = estimasi kebocoran energi dari proses power
 0.15 = estimasi kebocoran gear dari tenaga input

$$D^3 = \frac{16 \times T}{\pi \times S}$$

Diameter poros pengaduk (D)

$$T = \frac{63025 \times H}{N}$$

(17)

$$S = 20\% \times 36000 \text{ lb/in}^2$$

Dimana,

D = Diameter poros pengaduk (in)
 T = Torsi (lb.in)
 S = tekanan maksimum (lb/in²)
 N = rotasi pengaduk = 100 rpm
 $L = h + (l - Z_i)$

$$h = H_c + h_t$$

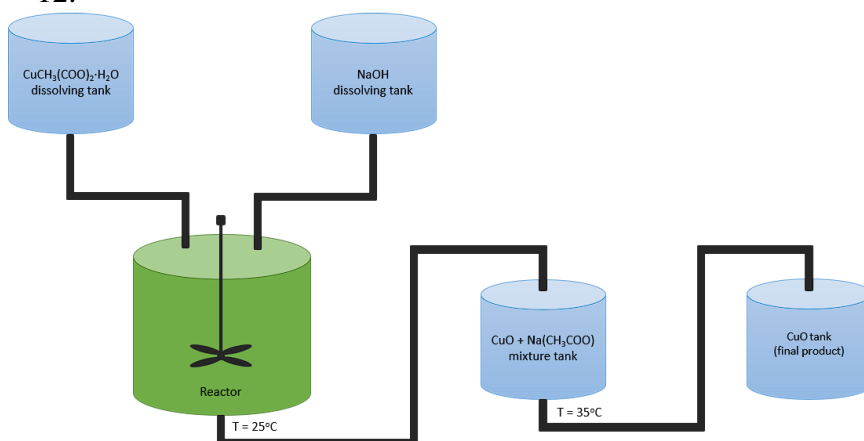
Panjang poros pengaduk (L)

Dimana,
 L = panjang poros (ft) (18)
 h = tinggi silinder (ft) + tinggi tutup atas (ft)
 l = panjang pendorong (ft)
 Z_i = panjang pendorong dari bawah tangki (ft)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Reaktor adalah alat manufaktur yang dapat berbeda ukurannya dari tabung uji kecil hingga reaktor tingkat industri besar. Untuk pelaksanaan metode perawatan yang efisien, biasanya diperlukan proses yang efektif dalam pengadukan dan pencampuran bahan. Definisi menguleni dan mencampur tidak sama. Agitasi digambarkan sebagai gerakan reduksi dalam arah tertentu dari suatu material di dalam bejana, dengan gerakan yang biasanya harus mengikuti suatu pola. Untuk mengoptimalkan produk reaksi, berbagai macam perhitungan seperti desain dan ukuran reaktor dilakukan. Beberapa asumsi dibuat untuk mengoptimalkan produk reaksi, seperti:

1. Bahan baku yang digunakan untuk produksi CuO adalah $\text{CuCH}_3(\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dan NaOH
2. Proses produksi CuO mengikuti Gambar 1.
3. Produksi CuO dihitung berdasarkan neraca massa pada Tabel 3.
4. Proses reaksi terjadi di dalam tangki reaktor
5. Tipe reaktor adalah *batch reactor*
6. Bahan konstruksinya adalah baja tahan karat
7. Temperatur kondisi pengoperasian adalah 25°C
8. Tekanan 1 atm
9. Waktu operasi adalah 1 jam
10. Persentase konversi adalah 99%
11. Berat molekul $\text{CuCH}_3(\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, NaOH, CuO, Na (CH₃COO), dan H₂O berturut-turut adalah 199,6493, 39,997, 79,545, 82,0343, dan 18,0153 g/mol.
- 12.



Gambar 1. PFD untuk produksi CuO

Tabel 3. Neraca massa dari produksi CuO

No	Komponen	Input		Output	
		Massa (kg/jam)	Mol (kmol/jam)	Massa (kg/jam)	Mol (kmol/jam)
1	CuCH ₃ (COO) ₂ ·H ₂ O	39,930	200	0,3992986	2
2	NaOH	7,9994	200	0,079994	2
3	CuO	0,000	0	15,74991	198
4	Na(CH ₃ COO)	0,000	0	32,485582	396
5	H ₂ O	439,912	24418,799	443,479	24616,8
			6	8	

Tabel 4. Performa parameter yang dikalkulasi untuk reaktor dan pengaduknya.

Parameter	Hasil
Volume total reaktor (V_r)	20.5254 ft ³
Dimensi vessel (d_i)	2.4849 ft
Volume cairan pada silinder (V_{lc})	15.2611 ft ³
Tinggi cairan pada silinder (H_{lc})	3.1485 ft
Tekanan dari desain (P_i)	11.5857 psig
Ketebalan silinder (t_c)	0.0740 in
Standardisasi d_o	2.4972 ft
Tinggi silinder (H_c)	3.7273 ft
Ketebalan tutup atas (th_t)	0.0727 in
Tinggi tutup atas (h_t)	5.0393 in
Ketebalan tutup bawah (th_b)	0.0855 in
Tinggi tutup bawah (h_b)	8.6181 in
Tinggi reaktor (H_r)	5.0738 ft
Diameter pendorong (D_a)	14.9093 in
Tinggi pendorong dari bawah tangki (Z_i)	9.9395 in
Panjang pendorong (l)	3.7273 in
Lebar pendorong (W)	2.9819 in
Jumlah pengaduk (n)	1
Kekuatan pengaduk (H)	1 Hp
Diameter poros pengaduk (D)	0.7641 in
Panjang poros pengaduk (L)	3.6296 ft

Gambar 1 mengilustrasikan model desain reaktor dan pengaduk yang telah dirancang. CuO disintesis dengan mencampurkan CuCH₃(COO)₂·H₂O dan NaOH pada suhu 25°C dan tekanan 1 atm. Ketika NaOH dicampurkan dan menjadi CuCH₃(COO)₂·H₂O, sejumlah besar endapan hitam terbentuk di dasar. Akhirnya, endapan yang terkumpul dibiarkan mengering pada suhu 35°C. Tabel 3 merangkum hasil pengukuran neraca massa pada proses produksi nanopartikel CuO berdasarkan Gambar 1.

Tabel 4 menunjukkan persyaratan spesifik reaktor yang diperoleh dari perhitungan produksi CuO berdasarkan neraca massa. Diperlukan satu *batch reactor* dengan volume 20,5254 ft³, tinggi 5,0738 ft, diameter 2,4849 ft, dan ketebalan silinder 0,0740 in. Jumlah pengaduk yang dibutuhkan adalah satu. Diameter, tinggi, panjang, dan lebar impeler masing-masing adalah 14,9093 in, 9,9395 in, 3,7273 in, dan 2,9819 in. Kekuatan pengaduk yang dihitung adalah 1 tenaga kuda. Pengukuran

spesifikasi *batch reactor* dan pengaduk ini dapat digunakan untuk meneliti desain reaktor dan mekanisme produksi di sebuah pabrik.

4. KESIMPULAN

1. *Batch reactor* untuk memproduksi partikel CuO pada skala industri telah berhasil dirancang. Berdasarkan persyaratan kinerja *batch reactor* dan pengaduk, diperlukan satu *batch reactor* dengan volume 20,5254 ft³, tinggi 5,0738 ft, diameter 2,4849 ft, dan ketebalan silinder 0,0740 in. Selanjutnya dimensi pengaduk, diameter pengaduk dan jarak pengaduk dari dasar tangki masing-masing adalah 14.9093 in dan 9.9395 in. Reaktor memiliki satu pengaduk dengan empat bilah. Pengukuran spesifikasi *batch reactor* dan pengaduk penelitian ini dapat digunakan untuk meneliti desain reaktor dan mekanisme produksi di suatu pabrik.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Studi ini dibantu oleh RISTEK BRIN (Grant: Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT)) dan Bangdos Universitas Pendidikan Indonesia

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Aparna, K. V. Rao, dan P. S. Subbarao, "Preparation and characterization of CuO Nanoparticles by novel sol-gel technique," 2012.
- [2] J. A. Switzer, H. M. Kothari, P. Poizot, S. Nakanishi, dan E. W. Bohannon, "Enantiospecific electrodeposition of a chiral catalyst," *Nature*, vol. 425, no. 6957, hlm. 490–493, 2003.
- [3] S. Anandan, X. Wen, dan S. Yang, "Room temperature growth of CuO nanorod arrays on copper and their application as a cathode in dye-sensitized solar cells," *Mater Chem Phys*, vol. 93, no. 1, hlm. 35–40, 2005.
- [4] A. Chowdhuri, P. Sharma, V. Gupta, K. Sreenivas, dan K. v Rao, "H₂S gas sensing mechanism of SnO₂ films with ultrathin CuO dotted islands," *J Appl Phys*, vol. 92, no. 4, hlm. 2172–2180, 2002.
- [5] S. Bennici dan A. Gervasini, "Catalytic activity of dispersed CuO phases towards nitrogen oxides (N₂O, NO, and NO₂)," *Appl Catal B*, vol. 62, no. 3–4, hlm. 336–344, 2006.
- [6] H. Fan dkk., "Controlled synthesis of monodispersed CuO nanocrystals," *Nanotechnology*, vol. 15, no. 1, hlm. 37, 2003.
- [7] M.-K. Wu dkk., "Superconductivity at 93 K in a new mixed-phase Y-Ba-Cu-O compound system at ambient pressure," *Phys Rev Lett*, vol. 58, no. 9, hlm. 908, 1987.
- [8] P. Poizot, S. Laruelle, S. Grugeon, L. Dupont, dan J. M. Tarascon, "Nano-sized transition-metal oxides as negative-electrode materials for lithium-ion batteries," *Nature*, vol. 407, no. 6803, hlm. 496–499, 2000.
- [9] M.-H. Chang, H.-S. Liu, dan C. Y. Tai, "Preparation of copper oxide nanoparticles and its application in nanofluid," *Powder Technol*, vol. 207, no. 1–3, hlm. 378–386, 2011.
- [10] V. R. Katti dkk., "Mechanism of drifts in H₂S sensing properties of SnO₂: CuO composite thin film sensors prepared by thermal evaporation," *Sens Actuators B Chem*, vol. 96, no. 1–2, hlm. 245–252, 2003.
- [11] C. L. Carnes dan K. J. Klabunde, "The catalytic methanol synthesis over nanoparticle metal oxide catalysts," *J Mol Catal A Chem*, vol. 194, no. 1–2, hlm. 227–236, 2003.
- [12] R. Martel, T. Schmidt, H. R. Shea, T. Hertel, dan P. Avouris, "Single-and multi-wall carbon nanotube field-effect transistors," *Appl Phys Lett*, vol. 73, no. 17, hlm. 2447–2449, 1998.
- [13] M. Kaur dkk., "Growth and branching of CuO nanowires by thermal oxidation of copper," *J Cryst Growth*, vol. 289, no. 2, hlm. 670–675, 2006.
- [14] M. Cao, Y. Wang, C. Guo, Y. Qi, C. Hu, dan E. Wang, "A simple route towards CuO nanowires and nanorods," *J Nanosci Nanotechnol*, vol. 4, no. 7, hlm. 824–828, 2004.

- [15] W. Wang, O. K. Varghese, C. Ruan, M. Paulose, dan C. A. Grimes, "Synthesis of CuO and Cu₂O crystalline nanowires using Cu (OH)₂ nanowire templates," *J Mater Res*, vol. 18, no. 12, hlm. 2756–2759, 2003.
- [16] C. Xu, Y. Liu, G. Xu, dan G. Wang, "Preparation and characterization of CuO nanorods by thermal decomposition of CuC₂O₄ precursor," *Mater Res Bull*, vol. 37, no. 14, hlm. 2365–2372, 2002.
- [17] X. Jiang, T. Herricks, dan Y. Xia, "CuO nanowires can be synthesized by heating copper substrates in air," *Nano Lett*, vol. 2, no. 12, hlm. 1333–1338, 2002.
- [18] K. P. Sundar dan S. Kanmani, "Progression of Photocatalytic reactors and it's comparison: A Review," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 154, hlm. 135–150, 2020.
- [19] P. Karagoz, R. M. Bill, dan M. Ozkan, "Lignocellulosic ethanol production: Evaluation of new approaches, cell immobilization and reactor configurations," *Renew Energy*, vol. 143, hlm. 741–752, 2019.
- [20] E. SAPUTRO, "ANALISA TEKNIK DAN EKONOMIS PADA DESAIN ALAT REAKTOR LIKUIFIKASI PADA INDUSTRI GULA," *jurnal ATMOSPHERE*, vol. 2, no. 1, hlm. 23–30, 2021.
- [21] M. R. Talaghat, S. Mokhtari, dan M. Saadat, "Modeling and optimization of biodiesel production from microalgae in a batch reactor," *Fuel*, vol. 280, hlm. 118578, 2020.
- [22] L. Fernández dkk., "Insight into antibiotics removal: Exploring the photocatalytic performance of a Fe₃O₄/ZnO nanocomposite in a novel magnetic sequential batch reactor," *J Environ Manage*, vol. 237, hlm. 595–608, 2019.
- [23] M. Otadi, Z. Panahi Shayegh, dan M. Monajjemi, "Synthesis and Characterization of Mn doped ZnO Nanoparticles and Degradation of Pyridine in a Batch Reactor Using: Taguchi Experimental Designing & Molecular Mechanic Simulation," *Biointerface Res. Appl. Chem*, vol. 11, hlm. 12471–12482, 2021.
- [24] N. Bassan, R. H. Rodrigues, R. Monti, C. Tecelão, S. Ferreira-Dias, dan A. v Paula, "Enzymatic modification of grapeseed (*Vitis vinifera* L.) oil aiming to obtain dietary triacylglycerols in a batch reactor," *LWT*, vol. 99, hlm. 600–606, 2019.
- [25] A. B. Sodha, D. R. Tipre, dan S. R. Dave, "Optimisation of biohydrometallurgical batch reactor process for copper extraction and recovery from non-pulverized waste printed circuit boards," *Hydrometallurgy*, vol. 191, hlm. 105170, 2020.
- [26] M. J. Sánchez-Martínez, S. Soto-Jover, V. Antolinos, G. B. Martínez-Hernández, dan A. López-Gómez, "Manufacturing of short-chain fructooligosaccharides: from laboratory to industrial scale," *Food Engineering Reviews*, vol. 12, no. 2, hlm. 149–172, 2020.
- [27] S. J. Allan, P. A. de Bank, dan M. J. Ellis, "Bioprocess design considerations for cultured meat production with a focus on the expansion bioreactor," *Front Sustain Food Syst*, vol. 3, hlm. 44, 2019.
- [28] J. Luo dan J. C. Crittenden, "Nanomaterial adsorbent design: from bench scale tests to engineering design." ACS Publications, 2019.
- [29] F. Merzari, M. Lucian, M. Volpe, G. Andreottola, dan L. Fiori, "Hydrothermal carbonization of biomass: Design of a bench-Scale reactor for evaluating the heat of reaction," *Chem Eng Trans*, vol. 65, hlm. 43–48, 2018.
- [30] L. Rodriguez-Guadarrama, "Modeling of anionic polymerization of isoprene in an industrial reactor," *Macromol React Eng*, vol. 13, no. 5, hlm. 1900008, 2019.
- [31] R. R. Roy dan A. Aditya, "A Review on applicability and design of sequencing batch Reactor," 2015.
- [32] A. S. Ethiraj dan D. J. Kang, "Synthesis and characterization of CuO nanowires by a simple wet chemical method," *Nanoscale Res Lett*, vol. 7, no. 1, hlm. 1–5, 2012.