

Desain Reaktor untuk Produksi Nanopartikel Nikel Ferit (NiFe_2O_4)

Sifa Aulia Rahma^{*1}, Asep Bayu Dani Nandiyanto², Risti Ragadhita³

^{1,2,3}Departemen Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

e-mail: ^{*1}auliarahmanurfal@upi.edu, ²nandiyanto@upi.edu, ³ristiragadhita@student.upi.edu

Abstract

The purpose of this research is to design a simple Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) type reactor and analyze the reactor through recycling analysis by calculating the reactor, stirrer used and mass balance using Microsoft Excel. Based on the calculation of the dimensions of the CSTR reactor, the design pressure is 44.61 psig, the thickness and height of the cylinder are 0.14 in and 85.46 in, respectively, the thickness of the top and bottom of the cylinder is 0.15 in and 0.23 in. Likewise, the height of the top and bottom lids of the cylinder tube is 9.63 in and 16.47 in and the height of the reactor is 114.06 in. Not only that, the reactor is also equipped with 1 stirrer with a diameter, height, length and width of 28.49 inches, 18.99 inches, 7.12 inches and 5.70 inches respectively with a stirring power in the process of 32.73 hp. This author's article is expected to be a useful reference as a method for designing learning reactors to produce nickel ferrite (NiFe_2O_4) nanoparticles which are tens of thousands of times larger than the laboratory scale.

Keywords : Reactor design, Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) type, NiFe_2O_4 nanoparticles, Mass balance, Learning.

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang reaktor sederhana tipe *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) dan menganalisis reaktor melalui analisis komputasi dengan menghitung reaktor, pengaduk yang digunakan dan neraca massa menggunakan *Microsoft Excel*. Berdasarkan hasil perhitungan dimensi reaktor CSTR, diperoleh tekanan *design* sebesar 44,61 psig, tebal dan tinggi tabung silinder masing-masing 0,14 in dan 85,46 in, ketebalan tutup atas dan bawah tabung silinder adalah 0,15 in dan 0,23 in begitu pun ketinggian tutup atas dan bawah tabung silinder sebesar 9,63 in dan 16,47 in serta tinggi reaktor sebesar 114,06 in. Tidak hanya itu, reaktor juga dilengkapi 1 pengaduk dengan diameter, tinggi, panjang dan lebar berturut-turut 28,49 in, 18,99 in, 7,12 in dan 5,70 in dengan daya pengadukan pada prosesnya sebesar 32,73 Hp. Penulisan artikel ini diharapkan menjadi referensi yang bermanfaat sebagai metode pembelajaran perancangan reaktor untuk menghasilkan produk nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4) yang berpuluh ribu kali lebih besar dari skala laboratorium.

Kata Kunci: Desain reaktor, Jenis *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR), Nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4), Neraca massa, Skala industri, Pembelajaran.

PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir bahkan sampai saat ini, studi mengenai nanopartikel magnetik masih menjadi peluang hangat yang paling menjanjikan untuk digunakan dalam berbagai aplikasi kehidupan, sehingga tidak menutup kemungkinan jika nanopartikel magnetik, salah satunya nikel ferit (NiFe_2O_4) diproduksi dalam skala industri. Nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4) termasuk ke dalam kelompok spinel ferit yang merupakan material ferit lunak dengan struktur kubik spinel sifat feromagnetik dan superparamagnetik (Balakrishnan & Veluchamy, 2015) juga memiliki sifat biokompatibilitas yang baik, toksisitas rendah, mudah dipreparasi dengan daya penyerapan yang tinggi (Nithyayini *et al.*, 2019). Sifat nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4) yang menguntungkan disebabkan adanya hukum Coulomb (gaya interaksi elektrostatis) yang dapat menghasilkan arus bolak-balik membentuk *loop hysteresis* dengan efek termo-abrasif lokal untuk kemudian digunakan dalam aplikasi biomedis di bidang *theranostic* karena dapat mematikan sel-sel bakteri dan kanker (Irfan *et al.*, 2020). Potensial lain dari nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4) adalah mampu mendegradasi pewarna dibawah

radiasi UV (Sendhilnathan *et al.*, 2018; Hariani *et al.*, 2021), sebagai perangkat fotolistrik, bahan katalisis, gas sensor, perangkat nano, perangkat microwave dan pigmen magnetik (Joshi *et al.*, 2014). Maka dari itu, sejumlah metode pendekatan telah dirancang untuk menghasilkan nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4) termasuk *ball milling*, metode reaksi *solid state* (Scano *et al.*, 2019), *combustion method* (Kooti & Sedeh, 2013), *sol-gel auto combustion method* (Srivastava *et al.*, 2009), metode hidrotermal (Huo & Wei, 2009) dan metode kopresipitasi (Maaz *et al.*, 2009; Sagadevan *et al.*, 2018; Nurmaysih *et al.*, 2021).

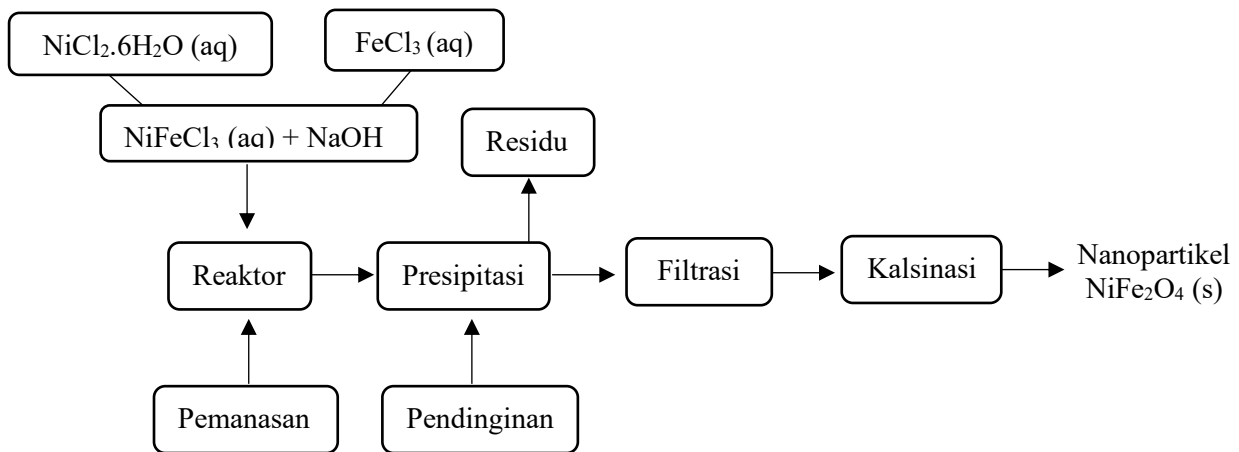
Metode kopresipitasi merupakan metode yang paling efisien dipilih dalam sintesis nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4) karena metode ini mampu menghasilkan ukuran nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4) yang relatif lebih kecil (Nurjanah *et al.*, 2022) jika dibandingkan dengan metode lain. Metode kopresipitasi merupakan pengendapan suatu logam oleh basa hidroksida dengan cara pemanasan (Asri, 2021) sampai menghasilkan butir partikel berukuran nanometer. Semakin kecil ukuran partikel, maka semakin besar saturasi magnetik, dan koersivitas semakin rendah (Muflihatun & Suharyadi, 2015). Sehingga lebih cocok untuk diaplikasikan dalam berbagai bidang salah satunya sebagai perangkat biomedis (Yelenich *et al.*, 2013). Rute kopresipitasi masih menjadi pilihan yang disukai dalam proses produksi nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4) karena mudah diskalakan untuk aplikasi industri (Laurent *et al.*, 2008), selain itu menggunakan pelarut dan reagen ramah lingkungan serta suhu dan tekanan reaksi tinggi (Santoyo *et al.*, 2011).

Proses kopresipitasi dapat terjadi di dalam suatu reaktor. Reaktor merupakan tempat berlangsungnya suatu reaksi kimia, tetapi tidak melibatkan reaksi fisik baik dalam skala industri kecil, menengah atau besar (Damanik *et al.*, 2020). Dalam pemilihan suatu reaktor industri, perlu dipertimbangkan terkait beberapa hal (Ula *et al.*, 2019) untuk menghasilkan produk yang diinginkan, yaitu biaya modal rendah (minimum volume reaktor), biaya produksi rendah, keuntungan besar, ramah lingkungan serta sistem kerja dan proses operasinya sederhana. Berdasarkan prosesnya, reaktor dibagi ke dalam 3 jenis, yaitu reaktor *batch*, reaktor *semi batch* dan sistem aliran kontinyu. Sistem aliran kontinyu telah memberikan jaminan peluang di bidang kimia, khususnya pada proses sintesis nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4). *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) atau reaktor tangki berpengaduk kontinyu dimodelkan seperti labu di laboratorium dalam skala besar. Dalam CSTR, pengadukan menjadi sangat penting untuk mendapatkan hasil campuran yang sempurna karena dapat meningkatkan optimasi kinerja sebagai reaktor. Selain itu, CSTR juga memberikan fleksibilitas yang lebih besar dalam mengatasi reaksi organik dari penambahan reagen dalam waktu yang cukup singkat (Chapman *et al.*, 2017). Maka dari itu, CSTR memiliki potensial untuk digunakan dalam sintesis nanopartikel (Lignos *et al.*, 2020). Proses kontinyu dalam tangki reaktor yang ideal ditandai dengan suhu, tekanan, kuantitas dan kualitasnya harus sesuai berdasarkan kondisi tertentu (Sundar & Kanmani, 2020). Adapun pada saat pemilihan jenis reaktor, hal-hal yang perlu diperhatikan adalah fase zat pereaksi, tipe reaksi, persamaan kecepatan reaksi, hasil reaksi, ada tidaknya reaksi samping, harga reaktor, biaya instalasi, kapasitas produksi dan kemampuan reaktor untuk perpindahan panas (Ula *et al.*, 2019).

Beberapa studi literatur penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti mengenai desain dan analisis reaktor untuk menghasilkan produk dalam skala industri atau mengoptimalkan hasil produk sehingga penggunaannya bisa lebih dirasakan, diantaranya reaktor untuk biodiesel (Akubude *et al.*, 2021; Talaghat *et al.*, 2020), reaktor untuk ekstraksi tembaga (Sodha *et al.*, 2020), reaktor untuk fermentasi limbah makanan (Qi *et al.*, 2020), reaktor untuk nanomaterial adsorben (Luo and Crittenden, 2019) dan lain-lain. Adapun beberapa perbandingan antara jenis reaktor *batch* yang satu dengan reaktor *batch* yang lain karena manfaatnya dapat dikontrol dengan mudah, proses kerjanya dapat dihomogenisasi dan tentunya minimum biaya (Roy & Aditya, 2015). Belum adanya kajian penelitian mengenai perancangan dan analisis reaktor nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4) berskala industri, membuat penulis merancang reaktor sederhana dan menganalisis reaktor melalui analisis komputasi dengan menghitung reaktor, pengaduk yang digunakan dan neraca massa menggunakan *Microsoft Excel* dengan mengacu pada aturan desain yang ada. Sehingga, penulisan artikel ini diharapkan menjadi sumber rujukan yang bermanfaat sebagai metode pembelajaran mengenai perancangan reaktor untuk menghasilkan produk nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4) yang berpuluh ribu kali lebih besar dari skala laboratorium.

METODE PENELITIAN

Nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4) diproduksi di dalam reaktor melalui metode kopresipitasi. Prekursor yang digunakan untuk sintesis nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4) adalah $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, FeCl_3 , NaOH dan air suling. Proses sintesis diawali dengan mencampurkan $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan FeCl_3 dalam pelarut air suling, campuran keduanya diendapkan dengan natrium hidroksida (NaOH) secara perlahan sampai mencapai pH lebih dari 11 sambil diaduk pada kecepatan 1000 rpm, lalu ditambahkan asam oleat sebagai surfaktan dan terbentuk pasta (presipitat cair) netral berwarna cokelat. Reaksi berlangsung pada suhu 80°C dengan tekanan 1 atm selama 4 jam, kemudian didinginkan sampai suhu kamar dan dicuci berulang kali dengan air suling dan etanol, lalu disentrifugasi selama 15 menit. Untuk mendapatkan hasil akhir, pasta dikalsinasi pada suhu pada suhu 800°C selama 10 jam menggunakan furnace sampai terbentuk substansi serbuk hitam berupa nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4) (Sagadevan et al., 2018). Kurang lebih 95% produk nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4) berhasil dikonversi dari reaktan setelah reaksi di dalam reaktor berlangsung. Proses sintesis nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4) terdapat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Diagram skema sintesis nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4) menggunakan metode kopresipitasi

Material konstruksi yang digunakan untuk kedua reaktor adalah *stainless steel* SA 240 Grade M Tipe 316 dengan spesifikasi bentuk silinder tegak, tutup atas berbentuk *standard dish* (alas piring) dan tutup bawah berbentuk *conical* (kerucut) 120° . Bahan untuk kedua pengaduk adalah *high alloy steel* SA 240 Grade M Tipe 316 dengan spesifikasi turbin berupa aksial 4 bersudut 45° . Dalam merancang suatu peralatan produksi, diperlukan beberapa parameter perhitungan analisis reaktor untuk optimasi suatu produk reaksi menggunakan bantuan *Microsoft Excel*. Proses pengolahan data disesuaikan berdasarkan persamaan yang telah ditentukan pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Kalkulasi parameter-parameter reaktor

No	Parameter-parameter	Persamaan	Pers.
1	Volume total reaktor	$Volume\ total\ reaktor = volume\ prekursor + 20\% \times volume\ ruang\ kosong$	(1)
		Keterangan :	
		$Volume\ total\ reaktor = ft^3$	

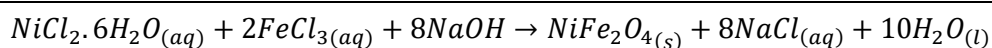
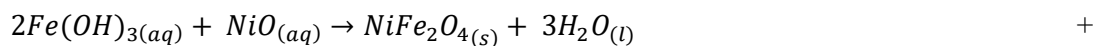
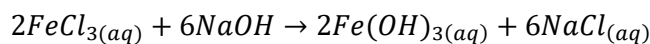
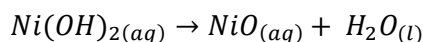
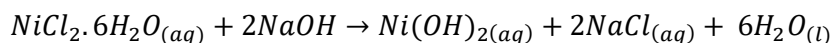
2	Dimensi Vessel (d_i)	$V_{total} = \frac{\pi d_i^3}{24 \tan 1/2\alpha} + \frac{\pi d_i^2}{4} \times L_s + 0,0847 d_i^3$	(2)
		Keterangan : $\alpha = 120^\circ$ $L_s = 1,5$ $d_i = in$	
3	Volume cairan dalam silinder (V_{Ls})	$V_{Ls} = \text{volume cairan} + \text{volume tutup bawah}$	(3)
		Keterangan : $V_{Ls} = ft^3$	
4	Tinggi cairan dalam silinder (L_{Ls})	$L_{Ls} = \frac{V_{Ls}}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \times d_i^2}$	(4)
		Keterangan : $L_{Ls} = in$	
5	Tekanan (P_i)	$P_i = P_{atm} + P_{hidrostatik}$	(5)
		$P_i = 14,7 \text{ psia} + \left(\frac{\rho (H_L - 1)}{144}\right) \text{ psia}$	
		Keterangan : $H_L = 5,1463$ $P_i = \text{psig}$	
6	Tebal silinder (t_s) dan standardisasi (d_o)	$t_s = \frac{P_i \cdot d_i}{2(f \cdot E - 0,6 P_i)} + C$	(6)
		Keterangan : $f = 18750$ $E = 0,8$ $C = 1/16$	
		$d_o = d_i + 2 t_s$	(7)
		Keterangan : $d_o = ft$	
7	Tinggi silinder (L_s)	$L_s = 2 \times d_i$	(8)
		Keterangan : $L_s = in$	
8	Dimensi tutup atas (th_a)	$th_a = \frac{0,885 \times P_i \times d_i}{2(f \times E - 0,1 P_i)} + C$	(9)
		Keterangan : $th_a = \text{Ketebalan (in)}$	
		$h_a = 0,169 \times d_i$	(10)
		Keterangan : $h_a = \text{Ketinggian (in)}$	

9	Dimensi tutup bawah (th_b)	$th_b = \frac{P_i \times d_i}{2(f \times E - 0,16) \cos\left(\frac{1}{2}\right)} + C$	(11)
		Keterangan : th_b = Ketebalan (in) α = 120°	
		$h_b = \frac{\frac{1}{2}ht}{\tan\left(\frac{1}{2}\alpha\right)}$	(12)
		Keterangan : h_b = Ketinggian (in) α = 120°	
10	Tinggi reaktor	$Tinggi\ reaktor = h_t + L_s + h_b + sf$	(13)
		Keterangan : Tinggi reaktor = ft^3 sf = 2,5	
11	Diameter <i>impeller</i> (D_a)	$D_a = 0,5 \times D_t$	(14)
		Keterangan : Diameter <i>impeller</i> = ft D_t = 77,6250	
12	Tinggi <i>impeller</i> bawah tangki (C)	$C = \frac{1}{3} \times D_a$	(15)
		Keterangan : Diameter silinder = ft	
13	Panjang <i>impeller</i> (L)	$L = \frac{1}{4} \times D_a$	(16)
		Keterangan : Panjang <i>impeller</i> = ft	
14	Lebar <i>impeller</i> (W)	$W = 0,20 \times D_a$	(17)
		Keterangan : Lebar <i>impeller</i> = ft	
15	Bilangan Stirrer (n)	$n = \frac{H_{liquid}}{2 \times D_a^2}$	(18)
		Keterangan : H_{liquid} = 61,7559	
16	Daya pengadukan (P)	$P = \frac{\varphi \times n^3 \times \rho \times D_i^5}{gc}$	(19)
		Keterangan : φ = 0,9 gc = 32,2 lb.ft/s ³ .lbf P (Hp) $H = (0,1 + 0,15)P + P$	
		Keterangan : 0,1 = perkiraan besarnya kebocoran daya pada proses dan bantalan dari daya input 0,15 = perkiraan jumlah kebocoran sabuk atau roda gigi dari daya input H (Hp)	

17	Diameter poros pengaduk (D)	$D^3 = \frac{16 \times T}{\pi \times S}$	(20)
		$T = \frac{63025 \times H}{N}$	(21)
		$S = 20\% \times 36000 \frac{lb}{in^2}$	(22)
	Keterangan :		
	S	= tegangan geser desain maksimum yang diijinkan ($\frac{lb}{in^2}$)	
	T	= momen torsi ($lb.in$)	
	π	= 3	
	D	= in	
18	Panjang poros (L)	$L = h + (l - Z_i)$	(23)
	Keterangan :		
	h	= $L_s + h_t$	
	L	= ft	

HASIL DAN PEMBAHASAN

Reaksi yang terjadi pada sintesis nanopartikel nikel ferit ($NiFe_2O_4$) metode kopresipitasi adalah reaksi substitusi atau reaksi penggantian molekul. Berikut ditampilkan reaksi substitusi sintesis nanopartikel nikel ferit ($NiFe_2O_4$).



Pada artikel ini, proses produksi nanopartikel nikel ferit ($NiFe_2O_4$) menggunakan *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) atau reaktor tangki berpengaduk kontinyu. Hal ini disebabkan karena kemampuan operasi CSTR dapat diatur kapasitas muatannya, sehingga cocok digunakan untuk produksi industri dalam skala besar. CSTR biasanya beroperasi pada keadaan *steady* yang mudah dikontrol temperaturnya (Smith, 1981). Dalam suatu produksi, proses pengolahan dikatakan berhasil beroperasi apabila pengadukan dan pencampuran bahan stabil dan terkolaborasi sempurna. Pengadukan merupakan suatu gerakan terpola yang bertujuan untuk menghasilkan suatu dispersi yang homogen yang berasal partikel zat padat bercampur dengan zat cair menggunakan alat pencampur atau *mixing* dalam sistem emulsi (Sudaryadi *et al.*, 2020), sehingga perpindahan panas antara sumber panas dan zat cair yang dikeluarkan reaktor dapat berlangsung dengan cepat. Pencampuran merupakan proses menghimpun atau membaurkan suatu bahan secara acak dengan gaya mekanik dalam dua fase atau lebih (Priyati *et al.*, 2016) sampai terbentuk suatu campuran. Pencampuran yang baik dapat ditentukan dari bentuk dan dimensi pengaduk yang digunakan, karena dapat mempengaruhi keefektifitasan dari suatu penggunaan daya dan proses pencampuran. Selain itu, perlu diperhatikan juga aspek tekanan dalam sebuah tangki reaktor untuk menghindari terjadinya suatu ledakan. Adapun mekanisme kerja CSTR adalah sejumlah volume reaktan yang digunakan untuk sejumlah volume produk yang dihasilkan. Maka dari itu, untuk mengetahui berapa banyak volume yang masuk dan keluar, perlu dilakukana perhitungan neraca massa yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Tabulasi data perhitungan neraca massa pada produksi nanopartikel nikel ferit (NiFe₂O₄)

Komponen	Mr (g/mol)	Massa (Kg)	Reaktan		Produk		
			Mol	Fr. Mol	Massa (Kg)	Mol	Fr. Mol
NiCl ₂ .6H ₂ O	238,00	2.195,99	9.226,85	0,087539	109,80	461,3424	0,002628
FeCl ₃	162,50	3.570,46	21.972,06	0,208458	721,67	4.441,049	0,025301
NaOH	40,00	2.968,15	74.203,75	0,704003	163,19	4.079,700	0,023243
NiFe ₂ O ₄	235,00	0	0	0	2.059,90	8.765,506	0,049938
NaCl	58,50	0	0	0	4.102,26	70.124,05	0,399506
H ₂ O	18,00	0	0	0	1.577,80	87.655,06	0,499383
Total		8.734,60	105.402,66	1,00	8.734,60	175.526,7	

Perhitungan neraca massa memiliki prinsip umum bahwa massa total reaktan jumlahnya sama dengan jumlah massa total produk yang sebelumnya tidak diketahui (Alexander, 2018). Komponen-komponen yang terkandung didalamnya dihasilkan dari reaksi substitusi sintesis nanopartikel nikel ferit (NiFe₂O₄). Komponen reaktan terdiri dari NiCl₂.6H₂O, FeCl₃ dan NaOH. Komponen produk terdiri dari NiFe₂O₄ sebagai produk utama dan NaCl serta H₂O sebagai produk samping. Untuk mendapatkan hasil yang sesuai berdasarkan prinsip neraca massa, maka perlu dilakukan perhitungan stoikiometri pada setiap komponennya. Massa komponen reaktan sebagai bahan awal dapat ditentukan sesuai kebutuhan produksi, sementara nilai mol dan fraksi mol secara berturut-turut diperoleh berdasarkan persamaan (24) dan (25).

$$mol = \frac{massa}{massa\ molar} \times 1000 \dots\dots\dots (24)$$

$$fraksi\ mol = \frac{mol\ (tiap\ komponen)}{mol\ (total\ keseluruhan)} \dots\dots\dots (25)$$

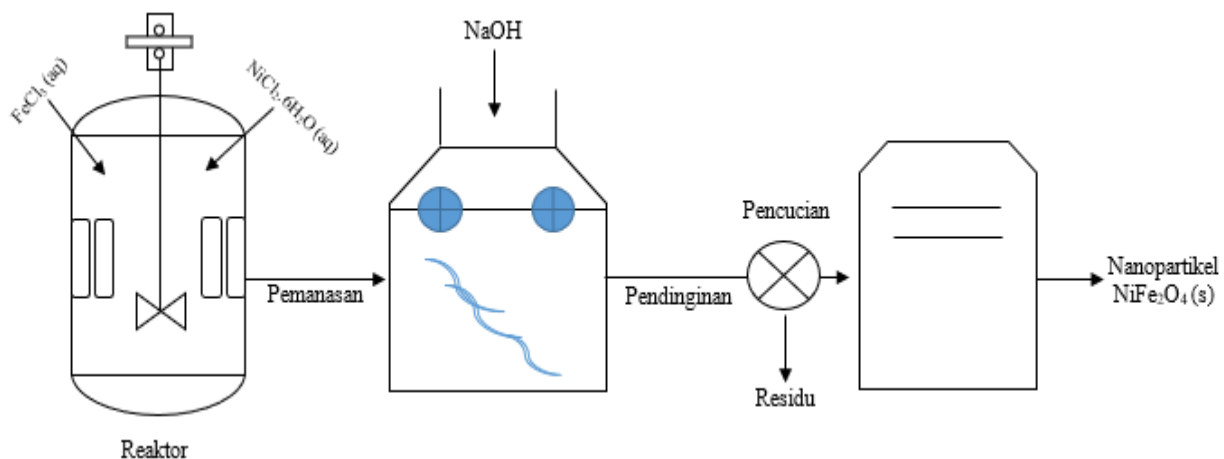
Setelah diperoleh nilai pada setiap komponen, selanjutnya dilakukan perhitungan matematika sederhana berupa penjumlahan untuk mengetahui pemakaian bahan berupa keseluruhan massa, mol dan fraksi mol yang dibutuhkan dan keseluruhan massa, mol serta fraksi mol yang didapatkan sebagai hasil produksi. Beberapa parameter perhitungan yang digunakan untuk menentukan spesifikasi tangki reaktor dan pengaduk, sehingga produksi nanopartikel nikel ferit (NiFe₂O₄) yang diinginkan sesuai. Berdasarkan analisis perhitungan manual dan *Microsoft Excel* diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil perhitungan parameter pada spesifikasi dimensi reaktor dan pengaduk

Parameter Dimensi Reaktor	Tipe atau Nilai
Type of reaktor	<i>Continous Stirred Tank Reactor (CSTR)</i>
Volume total reaktor	4.054,09 liter
Dimensi Vessel	56,98 in
Volume cairan dalam silinder	3.014,31 liter
Tinggi cairan dalam silinder	72,19 in
Tekanan Design	44,61 psig
Tebal silinder	0,14 in
Tinggi silinder	85,46 in
Ketebalan tutup atas	0,15 in
Ketinggian tutup atas	9,63 in

Ketebalan tutup bawah	0,23 in
Ketinggian tutup bawah	16,47 in
Tinggi reaktor	114,06 in
Diameter <i>impeller</i>	28,49 in
Tinggi <i>impeller</i> bawah tangki	18,99 in
Panjang <i>impeller</i>	7,12 in
Lebar <i>impeller</i>	5,70 in
Bilangan Stirrer	1 bagian
Daya pengadukan	32,73 Hp
Diameter poros pengaduk	0,96 in
Panjang poros	83,22 in

Berdasarkan hasil kalkulasi, diperoleh data spesifikasi dimensi tangki reaktor dan pengaduk yang dapat membantu dalam proses merancang desain reaktor. Desain perangkat reaktor sintesis nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4) ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 PFD pada produksi nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4)

Process Flow Diagram atau PFD merupakan diagram alir yang menunjukkan alur proses menggunakan equipment kimia (*chemicals*) yang lebih detail yang diilustrasikan sederhana oleh *shape*. Gambar 2 menunjukkan alur produksi nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4) yang dioperasikan pada reaktor untuk memperoleh produk dalam skala industri. Seluruh bahan FeCl_3 , $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan NaOH dimasukkan ke dalam reaktor untuk diolah selama beberapa jam sampai terbentuk nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4) serbuk berwarna coklat kehitaman murni, sedangkan residu yang terbentuk otomatis terpisahkan pada proses filtrasi dan pencucian.

KESIMPULAN

Hasil analisis perhitungan neraca massa pada proses produksi nanopartikel nikel ferit (NiFe_2O_4) menggunakan *Microsoft Excel*, diperoleh spesifikasi dimensi reaktor *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) seperti tekanan *design* sebesar 44,61 psig, tebal dan tinggi tabung silinder masing-masing 0,14 in dan 85,46 in, ketebalan tutup atas dan bawah tabung silinder adalah 0,15 in dan 0,23 in begitu pun ketinggian tutup atas dan bawah tabung silinder sebesar 9,63 in dan 16,47 in serta tinggi reaktor sebesar 114,06 in. Tidak hanya itu, reaktor juga dilengkapi 1 pengaduk dengan diameter, tinggi, panjang dan lebar berturut-turut 28,49 in, 18,99 in, 7,12 in dan 5,70 in dengan daya pengadukan pada prosesnya

sebesar 32,73 Hp. Berdasarkan hasil dan analisis perhitungan tersebut, rancangan dan analisis reaktor serta mekanisme produksi dapat dijadikan sebagai media pembelajaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Akubude, V. C., Jaiyeoba, K. F., Oyewusi, T. F., Abbah, E. C., Oyedokun, J. A., & Okafor, V. C. (2021). Overview on Different Reactors for Biodiesel Production. *Biodiesel Technology and Applications*, 341-359.
- Alexander, M. (2018). Neraca Masa dan Neraca Energi Pengelolaan Sampah Terpadu–Penujah Kabupaten Tegal. *Teknobiz: Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 8(3), 129-138.
- Asri, N. S. (2021). Synthesis and Characterization of Soft Magnetic Materials $NixZn_{1-x}Fe_2O_4$ ($x = 0,2-0,8$) Lombok Iron Sand with Co-precipitation Method. *Journal of Technomaterial Physics*, 3(1), 21-28.
- Balakrishnan, P., & Veluchamy, P. (2015). Synthesis and characterization of $CoFe_2O_4$ magnetic nanoparticles using sol-gel method. *Int J ChemTech Res*, 8, 271-276.
- Chapman, M. R., Kwan, M. H., King, G., Jolley, K. E., Hussain, M., Hussain, S., ... & Blacker, A. J. (2017). Simple and versatile laboratory scale CSTR for multiphasic continuous-flow chemistry and long residence times. *Organic Process Research & Development*, 21(9), 1294-1301.
- Damanik, I. Y., Nasrul, Z. A., & Muhammad, M. (2020). Optimasi Aplikasi Kontrol PI pada Tekanan di Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) menggunakan Response Surface Methodology (RSM). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 8(2), 15-32.
- Febriyanti, F., Sofianty, I., Sari, A. G. P., Madani, R. F., Bilad, M. R., & Nandiyanto, A. B. D. (2022). Fluidized Bed Reactor Type: Reactor Design for Biodiesel Production from Soybean Oil Using MgO Catalyst. *Journal of Earth Energy Science, Engineering, and Technology*, 5(2).
- Hariani, P. L., Said, M., Rachmat, A., Riyanti, F., Pratiwi, H. C., & Rizki, W. T. (2021). Preparation of $NiFe_2O_4$ Nanoparticles by Solution Combustion Method as Photocatalyst of Congo red. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 16(3), 481-490.
- Huo, J., & Wei, M. (2009). Characterization and magnetic properties of nanocrystalline nickel ferrite synthesized by hydrothermal method. *Materials Letters*, 63(13-14), 1183-1184.
- Irfan Hussain, M., Xia, M., Akhtar, K., Nawaz, A., Sharma, S. K., & Javed, Y. (2020). Ferrite nanoparticles for biomedical applications. In *Magnetic Nanoheterostructures* (pp. 243-265). Springer, Cham.
- Joshi, S., Kumar, M., Chhoker, S., Srivastava, G., Jewariya, M., & Singh, V. N. (2014). Structural, magnetic, dielectric and optical properties of nickel ferrite nanoparticles synthesized by co-precipitation method. *Journal of Molecular structure*, 1076, 55-62.
- Kooti, M., & Sedeh, A. N. (2013). Synthesis and characterization of $NiFe_2O_4$ magnetic nanoparticles by combustion method. *Journal of Materials Science & Technology*, 29(1), 34-38.
- Kurniawan, A., Sugiarto, B., & Perdana, A. (2020). Design of a Simple Pyrolysis Reactor for Plastic Waste Conversion into Liquid Fuel using Biomass as Heating Source. *Eksergi*, 17(1), 1-6.
- Laurent, S., Forge, D., Port, M., Roch, A., Robic, C., Vander Elst, L., & Muller, R. N. (2008). Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, stabilization, vectorization, physicochemical characterizations, and biological applications. *Chemical reviews*, 108(6), 2064-2110.
- Lignos, I., Ow, H., Lopez, J. P., McCollum, D. A., Zhang, H., Imbrogno, J., ... & Jensen, K. F. (2020). Continuous multistage synthesis and functionalization of sub-100 nm silica nanoparticles in 3D-printed continuous stirred-tank reactor cascades. *ACS applied materials & interfaces*, 12(5), 6699-6706.
- Luo, J., & Crittenden, J. C. (2019). Nanomaterial adsorbent design: from bench scale tests to engineering design.
- Maaz, K., Karim, S., Mumtaz, A., Hasanain, S. K., Liu, J., & Duan, J. L. (2009). Synthesis and magnetic characterization of nickel ferrite nanoparticles prepared by co-precipitation route. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 321(12), 1838-1842.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (1993). *Unit operations of chemical engineering* (Vol. 5, p. 154). New York: McGraw-hill.

- Muflihatun, S. S., & Suharyadi, E. (2015). Sintesis nanopartikel nickel ferrite (NiFe₂O₄) dengan metode kopresipitasi dan karakterisasi Sifat kemagnetannya. *Jurnal Fisika Indonesia*, 19(55), 20-25.
- Nithyayini, K. N., Harish, M. N. K., & Nagashree, K. L. (2019). Electrochemical detection of nitrite at NiFe₂O₄ nanoparticles synthesised by solvent deficient method. *Electrochimica Acta*, 317, 701-710.
- Nurjanah, N., Adzkie, Q. A. A., Rustana, R., Carrolline, S. C., Agustine, S. M., & Nandiyanto, A. B. D. (2022). A Review: Nanoparticles NiFe₂O₄ Synthesis and Its Application as Hyperthermia Agents in Biomedicine. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 11(2), 103-113.
- Nurmayansih, A., Hariani, P. L., & Said, M. (2021). Synthesis NiFe₂O₄ Nanoparticles by co-Precipitation Method for Degradation of Congo Red Dye. *IJFAC (Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry)*, 6(3), 115-121.
- Priyati, A., Abdullah, S. H., & Putra, G. M. D. (2016). Pengaruh Kecepatan Putar Pengadukan Adonan terhadap Sifat Fisik Roti (Effect of Dough Mixing Speed on Bread Physical Characteristic): Effect of Dough Mixing Speed on Bread Physical Characteristic. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 4(1), 217-221.
- Qi, S., Wang, Y., Chu, X., Wang, W., Zhan, X., & Hu, Z. H. (2020). Food waste fermentation for carbon source production and denitrification in sequencing batch reactors. *Journal of Cleaner Production*, 253, 119934.
- Roy, R. R., & Aditya, A. (2015). A Review on applicability and design of sequencing batch Reactor.
- Sagadevan, S., Chowdhury, Z. Z., & Rafique, R. F. (2018). Preparation and characterization of nickel ferrite nanoparticles via co-precipitation method. *Materials Research*, 21.
- Santoyo Salazar, J., Perez, L., De Abril, O., Truong Phuoc, L., Ihiawakrim, D., Vazquez, M., ... & Pourroy, G. (2011). Magnetic iron oxide nanoparticles in 10– 40 nm range: composition in terms of magnetite/maghemite ratio and effect on the magnetic properties. *Chemistry of materials*, 23(6), 1379-1386.
- Scano, A., Cabras, V., Piloni, M., & Ennas, G. (2019). Microemulsions: the renaissance of ferrite nanoparticle synthesis. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 19(8), 4824-4838.
- Sendhilnathan, S., Rajan, P. I., & Adinaveen, T. (2018). Synthesis and characterization of NiFe₂O₄ nanoparticles for the enhancement of direct sunlight photocatalytic degradation of methyl orange. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 31(10), 3315-3322.
- Sharifi, I., Shokrollahi, H., & Amiri, S. (2012). Ferrite-based magnetic nanofluids used in hyperthermia applications. *Journal of magnetism and magnetic materials*, 324(6), 903-915.
- Smith, J.M. 1981. Chemical Engineering Kinetic. 3rd edition. Mc.Graw Hill Boo Company Inc. New York
- Sodha, A. B., Tipre, D. R., & Dave, S. R. (2020). Optimisation of biohydrometallurgical batch reactor process for copper extraction and recovery from non-pulverized waste printed circuit boards. *Hydrometallurgy*, 191, 105170.
- Srivastava, M., Chaubey, S., & Ojha, A. K. (2009). Investigation on size dependent structural and magnetic behavior of nickel ferrite nanoparticles prepared by sol-gel and hydrothermal methods. *Materials Chemistry and Physics*, 118(1), 174-180.
- Sundar, K. P., & Kanmani, S. (2020). Progression of Photocatalytic reactors and it's comparison: A Review. *Chemical Engineering Research and Design*, 154, 135-150.
- Talaghat, M. R., Mokhtari, S., & Saadat, M. (2020). Modeling and optimization of biodiesel production from microalgae in a batch reactor. *Fuel*, 280, 118578.
- Ula, S. Maghfurah, F. Abdullah, S & Hermawan, A. (2019). Perencanaan desain reaktor biodiesel sistem batch untuk produksi biodiesel skala industri kecil. *TURBO*, 8(2), 169-176.
- Vena, T. D. (2022). A Design of Reactor for The Production of PbO Particles. *Journal of Industrial and Engineering System*, 3(2), 1-20.
- Yelenich, O. V., Solopan, S. O., Kolodiazhnyi, T. V., Dzyublyuk, V. V., Tovstolytkin, A. I., & Belous, A. G. (2013). Superparamagnetic behavior and AC-losses in NiFe₂O₄ nanoparticles. *Solid state sciences*, 20, 115-119.