

**RANCANGAN HEAT EXCHANGER JENIS SHELL AND TUBE UNTUK
PRODUKSI NANOPARTIKEL Fe_3O_4 SKALA INDUSTRI MENGGUNAKAN
PEMODELAN MATEMATIS**
**DESIGN OF SHELL AND TUBE TYPE HEAT EXCHANGER FOR INDUSTRIAL SCALE
 Fe_3O_4 NANOPARTICLE PRODUCTION USING MATHEMATIC MODELING**

Mentari Putri Aprilia^{1,a}, Asep Bayu Dani Nandiyanto², Teguh Kurniawan³, Meli Fiandini⁴, Risti Ragadhita⁵

¹Universitas Pendidikan Indonesia [Email: mentariputri28@upi.edu]

²Universitas Pendidikan Indonesia [Email: nandiyanto@upi.edu]

³Universitas Sultan Ageng Tirtayasa [Email: teguh_kr@yahoo.com]

⁴Universitas Pendidikan Indonesia [Email: melifiandini19@upi.edu]

⁵Universitas Pendidikan Indonesia [Email: ristiragadhita@student.upi.edu]

^amentariputri28@upi.edu

ABSTRAK

Nanopartikel Fe_3O_4 merupakan jenis nanopartikel yang berperan penting dalam kehidupan industri. Namun, masih jarang ditemukan proses sintesis Fe_3O_4 menggunakan sistem *heat exchanger* pada skala industri sehingga penelitian ini dilakukan untuk merancang *heat exchanger* jenis *shell and tube* dalam proses produksi nanopartikel Fe_3O_4 pada skala industri. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu perhitungan matematis menggunakan lebih dari 20 persamaan yang diturunkan berdasarkan pengaruh dimensi dan spesifikasi fluida dan kemudian data yang diperoleh diolah dengan menggunakan aplikasi *Microsoft Excel*. Rancangan alat HE memiliki spesifikasi panjang *tube* 4,572 m, diameter *tube* 0,0254 m, dan ketebalannya 0,0018 m. Lalu data diolah menggunakan *software* pengolah data *Microsoft Excel*. Hasilnya menunjukkan bahwa rancangan *heat exchanger* jenis *shell and tube* ini memiliki nilai efektivitas 93% dengan faktor kemurnian 0,01 jam.ft².°F/Btu. Dari penelitian ini diketahui jenis HE *shell and tube* yang dirancang belum sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh industri.

Kata kunci: Penukar panas, Kerangka dan tabung, Nanopartikel Fe_3O_4 , Efektivitas, Faktor kemurnian

ABSTRACT

Fe_3O_4 nanoparticles are a type of nanoparticles that important role in industrial life. However, it still rare to find the Fe_3O_4 synthesis process using a heat exchanger system on an industrial scale. This research to design a shell and tube type heat exchanger in the production process of Fe_3O_4 nanoparticles on an industrial scale. The method used in this study is a mathematical calculation using more than 20 equations based on the influence of dimensions and fluid specifications and then the data obtained is processed using Microsoft Excel application. The design of the HE tool has tube length specification 4.572 m, tube diameter 0.0254 m, and thickness 0.0018 m. Then the data is processed using Microsoft Excel data processing software. The results show that this shell and tube type heat exchanger design has an effectiveness value of 93% with a purity factor of 0.01 hours.ft².°F/Btu. From this research, it is known that the type of HE shell and tube designed is not accordance with the standards set by the industry.

Keywords: Heat exchanger, Shell and tube, Fe_3O_4 nanoparticles, Effectiveness, Fouling factor

1. PENDAHULUAN

Terdapat banyak jenis nanopartikel yang penting untuk digunakan dalam kehidupan industri, salah satu jenis nanopartikelnya adalah Fe_3O_4 . Nanopartikel Fe_3O_4 umumnya digunakan untuk memproduksi nanofluida biomedis untuk beberapa aplikasi seperti pemberian obat dan terapi kanker [1]. Penelitian mengenai sintesis Fe_3O_4 menggunakan sistem *heat exchanger* pada skala industri masih jarang ditemukan [2]. *Heat Exchanger* adalah alat penukar kalor (panas) yang berfungsi untuk mengubah suhu fasa sejenis cairan. Proses ini terjadi dengan memanfaatkan proses perpindahan panas dari suhu fluida yang lebih tinggi ke fluida bersuhu lebih rendah [3]. *Heat exchanger* memainkan peran penting dalam proses pemurnian minyak dan gas serta pemulihan limbah panas sehingga penting untuk menentukan

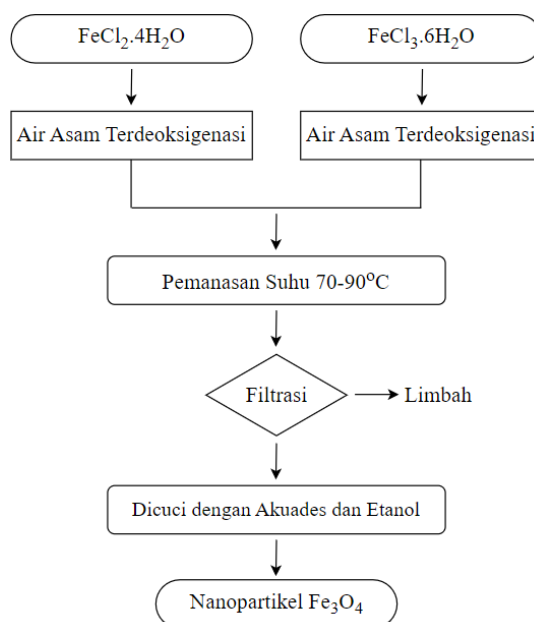
jenis HE yang akan digunakan. *Heat exchanger* jenis *shell and tube* (STHEs) adalah jenis *heat exchanger* yang paling banyak digunakan dalam skala industri karena manufakturnya yang relatif sederhana dan kemampuan beradaptasi pada operasi dalam kondisi yang berbeda. Rancangan *heat exchanger* jenis *shell and tube* (STHEs) dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak pada komputer, seperti *Microsoft Excel* [4].

Penelitian ini didasarkan dari penelitian sebelumnya [5] yang dilakukan pada skala laboratorium dengan mencampurkan 8 g besi klorida tetrahidrat ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) dalam 150 mL air asam terdeoksigenasi dan 16 g besi klorida heksahidrat ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dalam 200 mL air asam terdeoksigenasi yang dilarutkan secara terpisah dan kemudian dipanaskan pada suhu $70 - 80^\circ\text{C}$. Setelah nanopartikel Fe_3O_4 terbentuk kemudian endapan disaring dengan kertas saring dan dicuci beberapa kali dengan akuades dan etanol hingga pH netral. Dari prosedur tersebut diketahui bahwa pada proses produksi Fe_3O_4 membutuhkan sistem pemanasan. Namun, pada penelitian tersebut masih dilakukan dalam skala laboratorium. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis penggunaan sistem *heat exchanger* jenis *shell and tube* untuk produksi nanopartikel Fe_3O_4 dalam skala industri.

2. METODE PENELITIAN

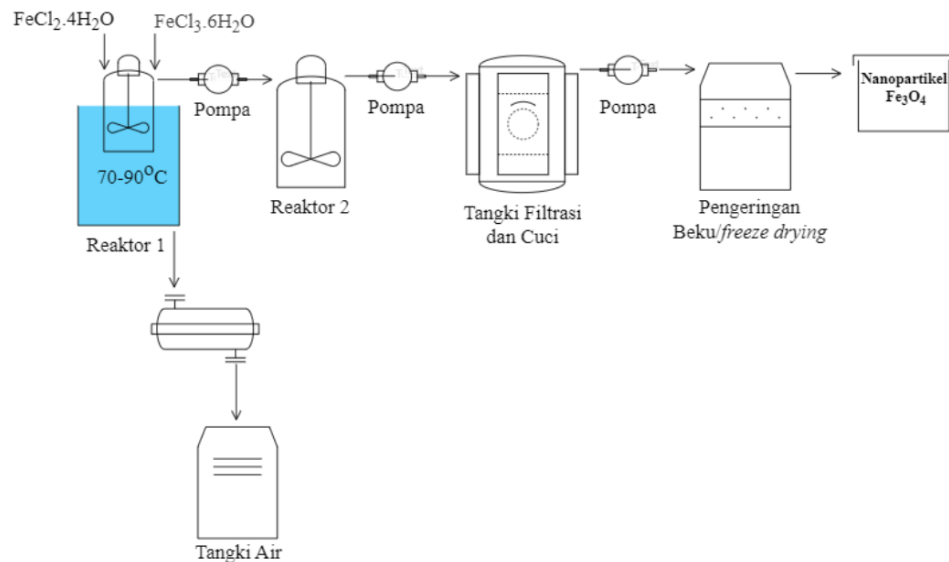
2.1. Pembuatan Nanopartikel Fe_3O_4

Pada proses pembuatan nanopartikel Fe_3O_4 dalam pelaksanaannya merujuk pada penelitian yang sebelumnya telah dilakukan oleh Ebaid [5] dimana tahap yang dilakukan yaitu mencampurkan 8 g besi klorida tetrahidrat ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) dalam 150 mL air asam terdeoksigenasi dan 16 g besi klorida heksahidrat ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dalam 200 mL air asam terdeoksigenasi yang dilarutkan secara terpisah dan kemudian dipanaskan pada suhu $70 - 80^\circ\text{C}$. Setelah nanopartikel Fe_3O_4 terbentuk kemudian endapan disaring dengan kertas saring dan dicuci beberapa kali dengan akuades dan etanol hingga pH netral. Diagram alir proses sintesis nanopartikel Fe_3O_4 ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir proses sintesis nanopartikel Fe_3O_4

Bagan alir (*flow chart*) dari proses sintesis nanopartikel Fe_3O_4 kemudian direpresentasikan dalam bentuk diagram alir proses (*proses flow diagram*) untuk kemudian dihubungkan dengan sistem HE dalam skala industri. Bentuk diagram alir proses (*proses flow diagram*) untuk ilustrasi rancangan sintesis nanopartikel Fe_3O_4 dalam sistem HE skala industri ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir proses dari sintesis nanopartikel Fe_3O_4

2.2. Model Matematis untuk Rancang *Heat Exchanger*

Asumsi karakteristik fluida yang digunakan dalam perancangan HE jenis *shell and tube* ini ditampilkan pada Tabel 1. Fluida dingin yang digunakan adalah air dengan suhu masuk 25°C , suhu keluar 70°C , dan laju alir $0,01 \text{ kg/s}$, sedangkan fluida panas yang digunakan adalah difenil eter dengan suhu masuk 75°C , suhu keluar 80°C , dan laju alir $0,05 \text{ kg/s}$.

Tabel 1. Asumsi karakteristik fluida dalam perancangan *heat exchanger*

Parameter	Fluida Dingin	Fluida Panas
Suhu masuk, T_{in} ($^\circ\text{C}$)	25	75
Suhu keluar, T_{out} ($^\circ\text{C}$)	70	80
Laju alir fluida (kg/s)	0,01	0,05
Tekanan operasi (atm)	29,62	13,83
Kapasitas panas (J/kg.K)	4180	1600
Densitas (kg/m^3)	999,82	1090,20

Adapun persamaan yang menjadi dasar untuk perhitungan pengolahan data pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan parameter *heat exchanger*

Bagian	Parameter	Persamaan
Parameter dasar	Energi ditransfer	$Q_{in} = Q_{out}$ $m_c \cdot C_{p_c} \cdot \Delta T_c = m_h \cdot C_{p_h} \cdot \Delta T_h$ dimana: Q = energi ditransfer (Wt) m = laju alir fluida (Kg/s) C_p = kapasitas panas (J/kg.K) ΔT = perubahan suhu

Tabel 2. (lanjutan). Perhitungan parameter *heat exchanger*

	Logarithmic mean temperature differenced (LMTD)	$LMTD = \frac{(T_{hi} - T_{ci}) - (T_{ho} - T_{co})}{\ln \frac{(T_{hi} - T_{ci})}{(T_{ho} - T_{co})}}$
		dimana, T_{hi} = suhu masuk fluida panas (°C) T_{ho} = suhu keluar fluida panas (°C) T_{ci} = suhu masuk fluida dingin (°C) T_{co} = suhu keluar fluida dingin (°C)
	Faktor koreksi (P,R)	$R = \frac{(T_{hi} - T_{ho})}{(T_{co} - T_{ci})}$ $P = \frac{(T_{co} - T_{ci})}{(T_{hi} - T_{ci})}$ $F = \frac{\sqrt{R^2 + 1} \ln \left[\frac{1-P}{1-PR} \right]}{(R-1) \ln \left(\frac{2-P(R+1-\sqrt{R^2+1})}{2-P(R+1+\sqrt{R^2+1})} \right)}$
	Luas area <i>heat transfer</i> (A)	$A = \frac{Q}{U \times LMTD}$
	Jumlah tube (N)	dimana, U = koefisien <i>heat transfer</i> $N = \frac{A}{\pi \times D_0 \times l}$
	Diameter shell (Ds)	dimana, $\pi = 3,14$ D_0 = diameter tube (m) l = panjang tube (m) $D_s = 0,63 \left(\frac{\sqrt{\frac{CL}{CTF}} \times (A \times (PR))^2 \times D_0}{1} \right)^{\frac{1}{2}}$
Tube	Luas permukaan dari total <i>heat exchanger tube</i> (a _t)	$a_t = N_t \frac{a'_t}{n}$
		dimana, a'_t = area alir dalam tube (m ²)
	Laju aliran massa air dalam tube (Gt)	$G_t = \frac{m_h}{a_t}$
	Bilangan Reynold (Re,t)	$Re_t = \frac{d_{i,t} \times G_t}{\mu}$
		dimana, $d_{i,t}$ = diameter dalam tube (m) μ = viskositas dinamis (Kg/ms)
	Bilangan Prandtl (Pr,t)	$Pr = \left(\frac{c_p \times \mu}{K} \right)^{\frac{1}{2}}$
		dimana, K = konduktivitas termal (W/m °C)
	Bilangan Nusselt (Nu,t)	$Nu = 0,023 \times Re_t^{0,6} \times Pr^{0,33}$
	Koefisien dalam (h _i)	$h_i = \frac{Nu \times K}{d_{i,t}}$

Tabel 2. (lanjutan). Perhitungan parameter *heat exchanger*

Shell	Area alir shell (A_s)	$A_s = \frac{d_s \times C \times B}{P_t}$
		$D_b = d_0 \left(\frac{N_t}{k_1} \right)^{\frac{1}{n_1}}$
		dimana, $C = clearance (P_t - d_0)$ $B = Bundel shell$ $P_t = tube pitch (1,25 \times d_0) (m)$
	Laju aliran massa air dalam shell (G_s)	$G_s = \frac{m_c}{a_s}$
	Diameter ekuivalen (d_e)	$d_e = \frac{4 \left(\frac{P_t}{2} \times 0,87 P_t - \frac{1}{2} \pi \frac{d_{0,t}^2}{4} \right)}{\frac{1}{2} \pi d_{0,t}}$
	Bilangan Reynold (Re_s)	$Re_s = \frac{d_{i,t} \times G_t}{\mu}$
	Bilangan Prandtl (Pr_s)	$Pr = \left(\frac{C_p \times \mu}{K} \right)^{\frac{1}{2}}$
	Bilangan Nusselt (Nu_s)	$Nu = 0,023 \times Re_s^{0,6} \times Pr^{0,33}$
	Koefisien <i>heat exchanger</i> konveksi (h_o)	$h_o = \frac{Nu \times K}{d_e}$
Shell and tube	Koefisien <i>heat exchanger</i> keseluruhan aktual	$U_{act} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta r}{k} + \frac{1}{h_o}}$
		dimana, $\Delta r = ketebalan permukaan (m)$
Laju panas	Laju fluida panas (C_h)	$C_h = m_h \cdot C_{p_h}$
	Laju fluida dingin (C_c)	$C_c = m_c \cdot C_{p_c}$
		$Q_{max} = C_{min} (T_{h,i} - T_{c,i})$
Efektivitas	Efektivitas <i>heat exchanger</i>	$\varepsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}} \times 100\%$ (1)
	Bilangan transfer unit (NTU)	$NTU = \frac{U \times A}{C_{min}}$
	Faktor kemurnian (R_f)	$R_f = \frac{U_a - U_{act}}{U_a \times U_{act}}$ (2)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perkembangan Penelitian di Bidang Perancangan

Konsep utama dalam perancangan HE adalah untuk menghitung perbedaan suhu antara suhu masuk fluida dingin dan panas dengan efek yang nampak pada suhu yang dikeluarkan [6]. Pada hasil perhitungan didapatkan nilai efektivitas dari rancangan HE ini adalah 93% yang artinya nilai tersebut adalah nilai laju perpindahan panas aktual dibagi dengan laju perpindahan maksimum yang mungkin [7]. Nilai efektivitas bergantung pada beberapa parameter, seperti konduktivitas termal, viskositas, densitas, dan kapasitas panas dari fluida yang digunakan [8]. Selain itu, LMTD, jumlah *tube*, diameter bundel, dan koefisien perpindahan panas juga menentukan nilai efektivitas dari suatu rancangan HE [9]. Nilai efektivitas rancangan HE berkaitan dengan perbedaan temperatur pada saat masuk dan keluar *heat exchanger*. Efektivitas dan perbedaan suhu ini memiliki hubungan yang linier, semakin besar perbedaan suhu maka semakin besar nilai efektivitas pada sistem *heat exchanger* [10]. Nilai efektivitas dihitung menggunakan persamaan (1) sehingga nilai efektivitas yang didapatkan pada penelitian ini 93% artinya lebih besar dari nilai yang diperbolehkan yaitu 70%. Namun, untuk faktor kemurnian (*fouling factor*) yang dihitung menggunakan persamaan (2) pada rancangan ini didapatkan sebesar 0,01 jam.ft².°F/Btu yang artinya tidak sesuai dengan standar

yang diizinkan yaitu sebesar 0,0002 jam.ft².°F/Btu. Jumlah pengotor memiliki efek yang lebih merugikan dibandingkan dengan efektivitas karena berdampak pada keseluruhan sistem HE sehingga rancangan *heat exchanger* pada penelitian ini belum dapat diterima dan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh industri. Adapun spesifikasi rancangan HE pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi rancangan *heat exchanger*

Tipe	<i>Shell and tube heat exchanger</i>
Bahan konstruksi	<i>Stainless steel 304</i>
Jumlah	1 buah
Data Rancangan	
Suhu fluida panas <i>input</i>	75°C
Suhu fluida panas <i>output</i>	80°C
Suhu fluida dingin <i>input</i>	25°C
Suhu fluida dingin <i>output</i>	70°C
Aliran fluida	<i>Counter-current</i>
Bagian Tube	Fluida dingin (air)
Jumlah tube	4.773,35
Panjang	15 ft = 4,572 m
OD	1 in = 0,0254 m
ID	0,856 in = 0,0217 m
Layout	<i>Triangular pitch</i>
Tube pitch	1 in = 0,0318 m
Passes	2
Heat transfer coef.	6720,9 btu/h.ft ² .°F/Btu
Fouling factor	0,01 jam.ft ² .°F/Btu
ΔPt	0,0000 psi = 0,0000 atm
Bagian Shell	Fluida panas (difenil eter)
ID shell	3 in = 0,0783 m
Baffle space	9,25 in = 0,2350 m
Passes	1
ΔPs	4,9146461 psi = 0,3344 atm

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini rancangan alat HE yang digunakan memiliki spesifikasi panjang tube 4,572 m, diameter tube 0,0254 m, dan ketebalannya 0,0018 m. Secara perhitungan matematika, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rancangan *heat exchanger* jenis *shell and tube* memiliki nilai efektivitas 93% dengan faktor kemurnian 0,01 jam.ft².°F/Btu sehingga jenis HE *shell and tube* yang dirancang belum sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh industri. Oleh karena itu, apabila akan dilakukan penelitian serupa perlu melakukan kembali kajian yang lebih mendalam terhadap parameter-parameter yang berpengaruh terhadap nilai efektivitas dan faktor kemurnian dari rancangan *heat exchanger* jenis *shell and tube*, seperti jenis fluida, LMTD, jumlah tube, diameter bundel, dan koefisien perpindahan panas yang akan digunakan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Universitas Pendidikan Indonesia beserta dengan Dosen pembimbing terkait yang telah memfasilitasi dan membimbing dalam kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Zhang, S. Wang, S. Qing, Z. Luo, and X. Zhang, "RESEARCH ON CONVECTIVE HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS OF Fe₃O₄ MAGNETIC NANOFLUIDS UNDER VERTICAL MAGNETIC FIELD," *Therm. Sci.*, vol. 26, no. 1, pp. 667–679, 2022, doi: 10.2298/TSCI201215151Z.
- [2] R. Aghayari, M. Kerdegari, S. Khosravi, A. Kia, H. Maddah, and A. H. Khalaj, "Synthesis and Thermo-physical Properties of Fe₃O₄ Nanofluid," *J. Mater. Sci. Surf. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 109–113, 2015, [Online]. Available: <http://www.jmsse.org/>
- [3] B. Septian, A. Aziz, and P. D. Rey, "Design of Heat Exchanger Shell and Tube," *J. Baut dan Manufaktur*, vol. 03, no. 1, pp. 53–60, 2021.
- [4] A. Nugraha and A. B. D. Nandiyanto, "Indonesian Journal of Multidisciplinary Research," *Indones. J. ...*, vol. 1, no. 2, pp. 171–206, 2021, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Verra-Wulandary/publication/355219569_Basic_Arithmetic_Learning_through_Math_Online_Games_for_Elementary_School_Students_during_the_Pandemic/links/6169374f039ba268443eec4a/Basic-Arithmetic-Learning-through-Math-Online-
- [5] M. S. Y. Ebaid, A. M. Ghrair, and M. Al-busoul, "Investigation of heat transfer enhancement using ferro-nanofluids (Fe₃O₄/water) in a heated pipe under the application of magnetic field," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 14, no. 6, pp. 1–17, 2022, doi: 10.1177/16878132221102647.
- [6] A. B. D. Nandiyanto, S. R. Putri, R. Ragadhita, and T. Kurniawan, "Design of Heat Exchanger for the Production of Carbon Particles," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 17, no. 4, pp. 2788–2798, 2022.
- [7] I. M. Shahrul, I. M. Mahbubul, R. Saidur, S. S. Khaleduzzaman, M. F. M. Sabri, and M. M. Rahman, "Effectiveness study of a shell and tube heat exchanger operated with nanofluids at different mass flow rates," *Numer. Heat Transf. Part A Appl.*, vol. 65, no. 7, pp. 699–713, 2014, doi: 10.1080/10407782.2013.846196.
- [8] H. Arya, M. M. Sarafraz, and M. Arjomandi, "Heat transfer and fluid flow of MgO/ethylene glycol in a corrugated heat exchanger," *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 32, no. 8, pp. 3975–3982, 2018, doi: 10.1007/s12206-018-0748-x.
- [9] S. K. Singh and J. Sarkar, "Improving hydrothermal performance of hybrid nanofluid in double tube heat exchanger using tapered wire coil turbulator," *Adv. Powder Technol.*, vol. 31, no. 5, pp. 2092–2100, 2020, doi: 10.1016/j.appt.2020.03.002.
- [10] S. R. Putri, S. N. Hofifah, G. C. S. Girsang, and A. B. D. Nandiyanto, "How to Identify Misconception Using Certainty of Response Index (CRI): A Study Case of Mathematical Chemistry Subject by Experimental Demonstration of Adsorption," *Indones. J. Multidiciplinary Res.*, vol. 2, no. 1, pp. 143–158, 2021, doi: 10.17509/ijomr.v2i1.38738.