

EVALUASI EKONOMI PRODUKSI NANOPARTIKEL Fe_3O_4 SKALA INDUSTRI

Mentari Putri Aprilia^{1*}, Asep Bayu Dani Nandiyanto¹, Meli Fiandini²

^{1,2}Jurusan Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia
Jl. Dr. Setiabudi No. 229, Kota Bandung, Jawa Barat 40154.

*Email: mentariputri28@upi.edu

Abstrak

Nanopartikel Fe_3O_4 merupakan jenis nanopartikel yang umumnya digunakan untuk memproduksi nanofluida biomedis untuk beberapa aplikasi seperti pemberian obat dan terapi kanker sehingga memiliki peran yang penting terhadap kesehatan manusia. Pentingnya peran nanopartikel Fe_3O_4 terhadap kesehatan menjadikan jumlah produksinya semakin meningkat. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi produksi nanopartikel Fe_3O_4 dari perspektif teknik dan ekonomi. Analisis perspektif teknik dilakukan dengan menghitung stoikiometri, neraca massa, dan evaluasi desain awal industri, sedangkan analisis perspektif ekonomi dilakukan dengan menghitung berbagai parameter ekonomi (*Gross Profit Margin* (GPM), *Cumulative Net Present Value* (CNPV), *Internal Rate Return* (IRR), *Payback Period* (PBP), *Break Event Point* (BEP), dan *Profitability Index* (PI)) dalam berbagai kondisi. Hasil analisis perspektif teknik menunjukkan bahwa produksi nanopartikel Fe_3O_4 skala industri berpotensi untuk dapat dilakukan dengan pengeluaran yang minimum, sedangkan hasil analisis perspektif ekonomi menunjukkan bahwa proyek ini berpotensi menghasilkan keuntungan besar sehingga evaluasi produksi nanopartikel Fe_3O_4 skala industri dari perspektif teknik dan ekonomi menunjukkan bahwa proyek ini dapat dilakukan dengan menggunakan alat yang tersedia dengan biaya yang ekonomis.

Kata kunci: evaluasi ekonomi, nanopartikel Fe_3O_4 , perspektif ekonomi, perspektif teknik

1. PENDAHULUAN

Terdapat banyak jenis nanopartikel yang penting untuk digunakan dalam kehidupan manusia, nanopartikel tersebut salah satunya adalah nanopartikel Fe_3O_4 . Nanopartikel Fe_3O_4 umumnya digunakan untuk memproduksi nanofluida biomedis untuk beberapa aplikasi seperti pemberian obat dan terapi kanker (Zhang, dkk., 2022). Nanopartikel Fe_3O_4 merupakan senyawa yang memiliki peran penting dalam kehidupan manusia karena memiliki fungsi utama untuk aplikasi biomedis, seperti pencitraan resonansi magnetik, terapi fotothermal, pengiriman obat terkontrol, pemisahan protein, biosensor, deteksi DNA, dan imunosensor (Salihov, dkk., 2015). Selama beberapa tahun terakhir, banyak artikel yang telah menjelaskan metode kimia yang efektif untuk memproduksi nanopartikel Fe_3O_4 yang stabil dengan ukuran yang dibutuhkan. Metode tersebut meliputi kopresipitasi (Ba-Abbad, dkk., 2022), dekomposisi termal (Bakr, dkk., 2020), teknik misel terbalik (Azizabadi, dkk., 2021), dan metode solvothermal (Ghosh Chaudhuri & Paria, 2012).

Di antara banyaknya penelitian yang membahas mengenai metode produksi

nanopartikel Fe_3O_4 , belum ada penelitian yang membahas mengenai produksi nanopartikel Fe_3O_4 dan kajiannya dari perspektif teknik dan ekonomi. Adapun untuk penelitian mengenai kajian dari perspektif teknik dan ekonomi pernah dilakukan oleh (Febriani, dkk., 2020) untuk nanopartikel MgO . Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi produksi nanopartikel Fe_3O_4 dari perspektif teknik dan ekonomi. Analisis perspektif teknik dilakukan dengan menghitung stoikiometri, neraca massa, dan evaluasi desain awal industri, sedangkan analisis perspektif ekonomi dilakukan dengan menghitung berbagai parameter ekonomi (*Gross Profit Margin* (GPM), *Cumulative Net Present Value* (CNPV), *Internal Rate Return* (IRR), *Payback Period* (PBP), *Break Event Point* (BEP), dan *Profitability Index* (PI)) dalam berbagai kondisi.

2. METODOLOGI

2.1 Analisis Perspektif Teknik

Analisis perspektif teknik digunakan untuk mengevaluasi produksi nanopartikel Fe_3O_4 skala industri. Produksi nanopartikel Fe_3O_4 dilakukan menggunakan teknik yang

sebelumnya telah dilakukan oleh (Ebaid, dkk., 2022) dengan skala laboratorium dimana prosedur 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°C dan ditambahkan 64 g NH_4OH . Setelah nanopartikel Fe_3O_4 terbentuk kemudian endapan disaring dengan kertas saring dan dicuci beberapa kali kali dengan akuades dan etanol hingga pH netral. Pembentukan nanopartikel Fe_3O_4 terjadi melalui reaksi berikut.

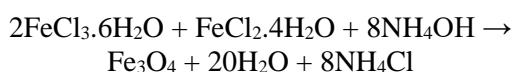
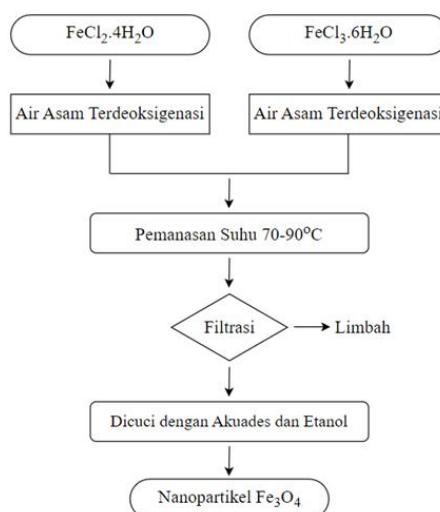


Diagram alir proses produksi nanopartikel Fe_3O_4 ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir proses produksi nanopartikel Fe_3O_4

2.2 Analisis Perspektif Ekonomi

Analisis perspektif ekonomi dilakukan dengan mengasumsikan semua spesifikasi peralatan, harga bahan baku/bahan kimia, sistem utilitas, dan biaya peralatan yang diadopsi dari toko *web online* Tokopedia. Data ini kemudian digunakan dan dimasukkan dalam perhitungan untuk analisis evaluasi ekonomi. Analisis dilakukan dengan menerapkan perhitungan pada kondisi ideal dan tidak ideal (dengan mengubah beberapa variabel seperti harga bahan baku, utilitas, dan penjualan. Data yang telah diperoleh tersebut kemudian diolah menggunakan perhitungan analisis evaluasi

ekonomi yang diadopsi dari penelitian (Nandiyanto, 2018) dan (Ragadhita, dkk., 2019). Berbeda dengan perhitungan ekonomi pada umumnya (Bayu, dkk., 2020), dilakukan penambahan perhitungan yang dijelaskan melalui beberapa rumus pada poin di bawah ini.

2.2.1 Gross Profit Margin (GPM)

GPM diperoleh melalui pengurangan harga jual dan harga bahan baku dengan rumus,

$$\text{GPM} = \sum_{t=1}^t (S \cdot \eta - RM) PC \cdot Q \cdot t \quad (1)$$

dimana S , RM , dan PC masing-masing adalah total penjualan, total bahan baku, dan kapasitas produksi. Q adalah kapasitas bahan baku yang dimasukkan dan digunakan dalam proses (kg/jam) dan t adalah waktu produksi. η adalah efisiensi konversi, ini bergantung pada reaksi kimia dalam proses yang terjadi.

2.2.2 Cumulative Net Present Value (CNPV)

CNPV diperoleh dengan menjumlahkan *Net Present Value* (NPV) pada waktu tertentu sejak dimulainya proyek. NPV dihitung menggunakan rumus,

$$\text{NPV} = \sum_{tr=1}^{tr} \left(\frac{R_t}{(1+i)^{tr}} \right) \quad (2)$$

dimana R_t adalah arus kas masuk bersih dikurangi arus keluar selama satu periode tr , i adalah tingkat diskon yang dapat diperoleh dari investasi alternatif, tr adalah waktu proyek (dalam tahun), dan Tr adalah tahun terakhir proyek.

2.2.3 Internal Rate Return (IRR)

IRR dihitung menggunakan rumus,

$$\text{NPV} = \sum_{tr=1}^{tr} \frac{C_t}{(1+i)^{tr}} - C_o \quad (3)$$

dimana C_o dan C_t masing-masing adalah total biaya investasi dan arus kas masuk bersih selama periode tr . IRR dihitung dari nilai r ketika NPV bernilai nol.

2.2.4 Payback Period (PPB)

PPB memprediksi lamanya waktu proyek harus mendapatkan kembali modal awalnya. PPB dihitung kapan CNPV/TIC mencapai nol.

2.2.5 Break Event Point (BEP)

BEP dihitung dengan membagi biaya tetap dengan keuntungan.

2.2.6 Profitability Index (PI)

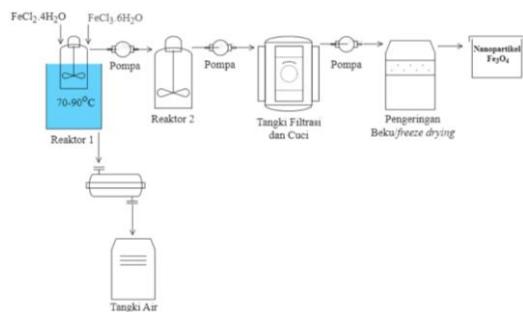
PI dihitung dengan membagi CNPV dengan penjualan dan total biaya investasi tergantung pada jenis PI, apakah PI penjualan atau PI investasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Perspektif Teknik

Prosedur produksi nanopartikel Fe_3O_4 diadopsi dari penelitian yang telah dilakukan oleh (Ebaid, dkk., 2022) dengan skala laboratorium dimana prosedur 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°C dan ditambahkan 64 g NH_4OH .

Pada prosedur tersebut dilakukan produksi nanopartikel Fe_3O_4 dengan skala laboratorium, sedangkan penelitian ini dilakukan untuk menganalisis produksi nanopartikel Fe_3O_4 skala industri. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan asumsi dimana diasumsikan pada sekali *running* produksi nanopartikel Fe_3O_4 dihasilkan produk nanopartikel Fe_3O_4 sebanyak 15.000 gram sehingga bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini diperbesar sebanyak 15.000x perbesaran dari jumlah bahan yang digunakan pada data skala laboratorium sehingga $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ yang digunakan sebanyak 240 kg, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang digunakan sebanyak 120 kg, dan NH_4OH yang digunakan sebanyak 960 kg. Ilustrasi produksi nanopartikel Fe_3O_4 skala industri divisualisasikan dalam bentuk diagram alir proses (*process flow diagram*) yang ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir proses produksi nanopartikel Fe_3O_4 skala industri

3.2 Analisis Perspektif Ekonomi

Pada analisis perspektif ekonomi produksi nanopartikel Fe_3O_4 skala industri dilakukan beberapa asumsi, yaitu: (a) Konversi dari USD ke Rupiah adalah 1 USD = Rp.15.000; (b) Semua harga bahan baku dan penjualan mengacu pada web belanja online Tokopedia. Harga bahan baku seperti $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, dan NH_4OH masing-masing adalah 385,05 USD/Kg, 449,22 USD/Kg, dan 1,28 USD/Kg; (c) Perhitungan stoikiometri digunakan untuk menghitung semua bahan baku yang digunakan selama proses produksi nanopartikel Fe_3O_4 ; (d) Tingkat diskon dan pajak penghasilan masing-masing adalah 15 dan 10%; (e) Biaya utilitas listrik adalah 0,15 USD/kWh; (f) Sumber air tidak dipungut biaya karena lokasi proyek berada di dekat sungai; (g) Produksi nanopartikel Fe_3O_4 terdiri dari 3 siklus per hari. Waktu yang diperlukan untuk satu siklus dalam produksi silika adalah 3 jam; (h) Buruh bekerja selama 264 hari per tahun; (i) Faktor Lang digunakan untuk menganalisis total biaya investasi (*Total Investent Cost/TIC*) proyek (Tabel 1); (j) Biaya produksi dapat diubah dan diprediksi sejak awal proyek. Estimasi biaya produksi ditampilkan pada Tabel 1; (k) Biaya pendukung lainnya seperti instrumentasi dan komponen terkait kelistrikan diabaikan; (l) Total upah dalam nilai tetap sebesar 8 USD/hari dan jumlah pekerja dalam proyek ini adalah 15 orang; dan (o) Proyek ini beroperasi selama 21 tahun.

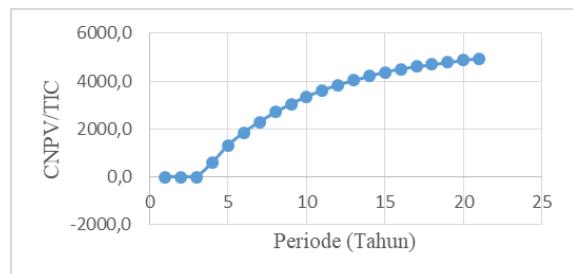
Tabel 1. Estimasi total investasi produksi nanopartikel Fe_3O_4

Komponen	Faktor	Biaya
PC (peralatan)		
Pipa	1	\$ -
Listrik	0,5	\$ 1.392,88
Instrumen	0,1	\$ 278,58
Utilitas	0,2	\$ 557,15
Pendiri	0,5	\$ 1.392,88
Isolasi	0,1	\$ 278,58
Pengecatan, tahan api, keamanan	0,06	\$ 167,15
Perbaikan pekarangan	0,05	\$ 139,29
Lingkungan	0,08	\$ 222,86
Bangunan	0,2	\$ 557,15
Tanah	0,08	\$ 222,86
	0,5	\$ 1.392,88

Subtotal 1	\$ 6.602,25
PC (layanan manajemen)	
Konstruksi, teknik	0,6 \$ 1.671,46
Biaya kontraktor	0,3 \$ 835,73
Potensial	0,2 \$ 557,15
Subtotal 2	\$ 3.064,34
Total PC (=peralatan + layanan manajemen)	\$ 9.666,59
TPC (=Total PC - Tanah)	\$ 1.671,46
Biaya awal	
Fasilitas di luar lokasi	0,2 \$ 557,15
Awal perencanaan	0,07 \$ 195,00
Modal kerja	0,2 \$ 557,15
Subtotal 3	\$ 1.309,31
TIC (=TPC + Biaya awal)	\$ 2.980,76
TIC-Tanah	\$ 1.587,88

3.2.1 Kondisi Ideal

Perspektif teknik menunjukkan bahwa proyek mudah dioperasikan, diperbaiki, dan dikembangkan dengan menggunakan teknologi dan peralatan yang tersedia dan tidak mahal. Dalam evaluasi ekonomi, analisis pada kondisi ideal (ditampilkan pada kurva CNPV 21 tahun pada Gambar 3) sangat menjanjikan, dibuktikan dengan nilai PBP yang relatif pendek (3 tahun) yang artinya hanya perlu waktu 3 tahun untuk mengembalikan seluruh biaya modal.



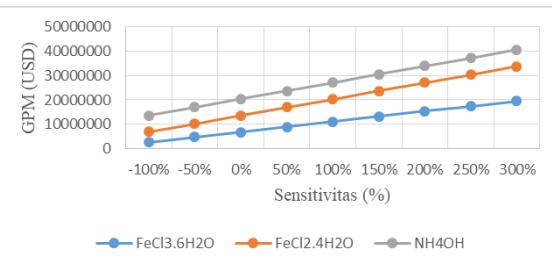
Gambar 3. Kurva CNPV dalam periode 21 tahun

CNPV berkaitan dengan jumlah hasil produk. Semakin banyak hasil produk semakin banyak juga target penjualan dan keuntungan oleh suatu proyek dalam periode tertentu (Gunawan, dkk., 2017).

3.2.2 Pengaruh Bahan Baku

Gambar 4 menunjukkan analisis sensitivitas perubahan harga bahan baku

($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, dan NH_4OH) terhadap nilai GPM proyek produksi nanopartikel Fe_3O_4 skala industri.

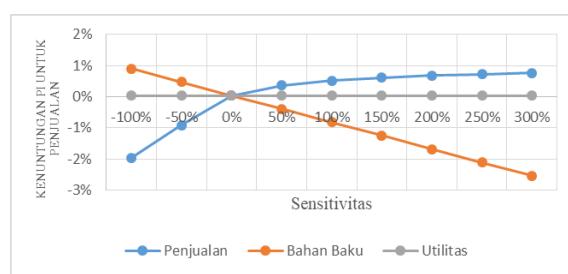


Gambar 4. Kurva sensitivitas perubahan harga bahan baku terhadap nilai GPM proyek produksi nanopartikel Fe_3O_4 skala industri

Sejalan dengan analisis GPM, kenaikan harga bahan baku NH_4OH dan $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ berdampak langsung pada kelangsungan proyek (kurang profitabilitas). Nilai BEP artinya nilai ketika suatu perusahaan berada di kondisi yang tidak mengalami kerugian dan juga keuntungan. Dari Gambar 4 terlihat bahwa harga penjualan bahan baku (sensitivitas) yang lebih tinggi memberikan pengaruh yang baik terhadap perolehan nilai BEP yang lebih tinggi.

3.2.3 Pengaruh Penjualan dan Utilitas

Analisis sensitivitas penjualan, bahan baku, dan utilitas terhadap profitabilitas penjualan ditampilkan pada Gambar 5.



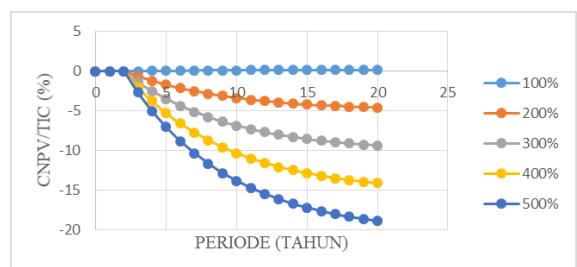
Gambar 5. Kurva sensitivitas penjualan, bahan baku, dan utilitas terhadap profitabilitas penjualan

Analisis tersebut menunjukkan bahwa penjualan yang lebih tinggi memungkinkan lebih banyak keuntungan yang akan dicapai. Berdasarkan hasil tersebut diketahui dalam penelitian ini bahwa proyek gagal jika harga produk kurang dari 50% dari estimasi penjualan. Namun, harga produk yang terlalu tinggi tidak berdampak signifikan pada proyek

karena dapat menyebabkan penurunan jumlah produk yang dikonsumsi oleh pasar (Haris, dkk., 2019). Untuk meningkatkan jumlah produk yang terjual, diperlukan kesepakatan antara produsen dan konsumen, termasuk kesepahaman untuk pembelian produk. Memang, hal ini akan berkaitan dengan optimalisasi harga produk, terutama dalam situasi persaingan yang meningkat dan perkembangan permintaan yang terbatas.

3.2.4 Pengaruh Biaya Variabel

Biaya variabel merupakan kombinasi dari biaya bahan baku, tenaga kerja, utilitas, dan biaya *overhead*. Biaya variabel merupakan biaya terbesar yang harus disediakan oleh proyek. Biaya ini harus digunakan secara efisien untuk mencapai keuntungan yang optimal (Gunawan, dkk., 2017). Analisis perubahan biaya variabel terhadap CNPV ditampilkan pada Gambar 6. Perubahan biaya variabel berdampak pada keuntungan (ditunjukkan dengan perubahan kurva CNPV). Biaya variabel yang lebih rendah dapat menghasilkan keuntungan maksimum.



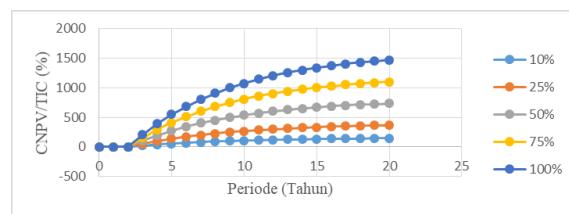
Gambar 6. Kurva perubahan biaya variabel terhadap CNPV

Dari hasil pada Gambar 6 diketahui pada penelitian ini nilai maksimum untuk perubahan biaya variabel adalah 500% dari nilai perkiraan yang artinya perusahaan harus menyediakan maksimum biaya sebesar 500% dari biaya yang telah diperkirakan untuk mencapai keuntungan yang optimal berdasarkan hasil analisa untuk ekonomi secara keseluruhan.

3.2.5 Pengaruh Kondisi Eksternal

Selain faktor internal seperti bahan baku dan utilitas, faktor eksternal juga harus diperhatikan karena memberikan pengaruh terhadap keberhasilan proyek. Faktor eksternal berkaitan dengan kondisi ekonomi suatu negara tempat proyek didirikan, termasuk pajak dan subsidi dari negara yang dikenakan pada

perusahaan (Haris, dkk., 2019). Untuk mengetahui pengaruh pajak yang dikenakan pada perusahaan, penelitian ini menggunakan nilai pajak spekulatif yang harus dibayar mulai dari 10 hingga 100% dari nilai prediksi untuk kasus terburuk di Indonesia. Analisis variasi pajak terhadap nilai CNPV ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva analisis variasi pajak terhadap nilai CNPV

Pada Gambar 7 diketahui pada tahun ke-0 hingga tahun kedua, pajak belum dibebankan ke perusahaan karena tahun ini proyek masih dalam tahap pembangunan. Efek pajak diselidiki setelah dua tahun proyek didirikan. Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin tinggi pajak yang dikenakan pada suatu proyek mengakibatkan diperolehnya nilai akhir CNPV yang semakin besar. Nilai pajak terbesar agar proyek tetap mendapatkan laba minimum adalah 10% dari nilai prediksi. Jika pajak yang dikenakan lebih dari 10%, maka proyek tersebut gagal.

4. KESIMPULAN

Hasil analisis evaluasi produksi nanopartikel Fe_3O_4 skala industri dari perspektif teknik dan ekonomi menunjukkan bahwa proyek ini dapat dilakukan dengan menggunakan alat yang tersedia dengan biaya yang ekonomis. Hasil analisis perspektif teknik menunjukkan bahwa produksi nanopartikel Fe_3O_4 skala industri berpotensi untuk dapat dilakukan dengan pengeluaran yang minimum, sedangkan hasil analisis perspektif ekonomi menunjukkan bahwa proyek ini berpotensi menghasilkan keuntungan besar, namun kurang menarik bagi investor industri untuk jangka panjang sehingga untuk memastikan proyek ini menguntungkan atau tidak, proyek ini tetap harus dilaksanakan dengan tambahan dukungan finansial yang menjadi tanggung jawab sosial pemerintah maupun industri.

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

- Azizabadi, O., Akbarzadeh, F., Danshina, S., Chauhan, N. P. S., & Sargazi, G. (2021). An efficient ultrasonic assisted reverse micelle synthesis route for Fe₃O₄@Cu-MOF/core-shell nanostructures and its antibacterial activities. *Journal of Solid State Chemistry*, 294(November 2020), 121897. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2020.121897>
- Ba-Abbad, M. M., Benamour, A., Ewis, D., Mohammad, A. W., & Mahmoudi, E. (2022). Synthesis of Fe₃O₄ Nanoparticles with Different Shapes Through a Co-Precipitation Method and Their Application. *Jom*, 74(9), 3531–3539. <https://doi.org/10.1007/s11837-022-05380-3>
- Bakr, E. A., El-Nahass, M. N., Hamada, W. M., & Fayed, T. A. (2020). Facile synthesis of superparamagnetic Fe₃O₄@noble metal core-shell nanoparticles by thermal decomposition and hydrothermal methods: Comparative study and catalytic applications. *RSC Advances*, 11(2), 781–797. <https://doi.org/10.1039/d0ra08230a>
- Bayu, A., Nandiyanto, D., Maulana, M. I., Raharjo, J., Sunarya, Y., & Minghat, D. (2020). COMMUNICATIONS IN SCIENCE AND TECHNOLOGY Techno-economic analysis for the production of LaNi₅ particles. *Communications in Science and Technology*, 5(2), 70–84.
- Ebaid, M. S. Y., Ghairir, A. M., & Al-busoul, M. (2022). Investigation of heat transfer enhancement using ferro-nanofluids (Fe₃O₄/water) in a heated pipe under the application of magnetic field. *Advances in Mechanical Engineering*, 14(6), 1–17. <https://doi.org/10.1177/16878132221102647>
- Febriani, L. I., Nurhashiva, C., Veronica, J., Ragadrita, R., Nandiyanto, A. B. D., & Kurniawan, T. (2020). Computation Application: Techno-Economic Analysis on the Production of Magnesium Oxide Nanoparticles by Precipitation Method. *International Journal of Informatics, Information System and Computer Engineering (INJIISCOM)*, 1(1), 117–128.
- Ghosh Chaudhuri, R., & Paria, S. (2012). Core/shell nanoparticles: Classes, properties, synthesis mechanisms, characterization, and applications. *Chemical Reviews*, 112(4), 2373–2433. <https://doi.org/10.1021/cr100449n>
- Gunawan, B., Pamungkas, R., & Susilawati, D. (2017). Perbandingan Prediksi Financial Distress Menggunakan Model Altman, Grover dan Zmijewski. *Jurnal Akuntansi Dan Investasi*, 18(1), 119–127. <https://doi.org/10.18196/jai.18164>
- Haris, F., Prabowo, E., Galuh, U., Material, R., Fluctuation, C., & Determination, P. (2019). *The Graduate Program of Universitas Galuh Master of Management Studies Program PRICE DETERMINATION OF CHICKEN PORRIDGE SMEs IN FACING RAW*. 3(1).
- Nandiyanto, A. B. D. (2018). Cost analysis and economic evaluation for the fabrication of activated carbon and silica particles from rice straw waste. *Journal of Engineering Science and Technology*, 13(6), 1523–1539.
- Ragadrita, R., Nandiyanto, A. B. D., Nugraha, W. C., & Mudzakir, A. (2019). Adsorption isotherm of mesopore-free submicron silica particles from rice husk. *Journal of Engineering Science and Technology*, 14(4), 2052–2062.
- Salihov, S. V., Ivanenkov, Y. A., Krechetov, S. P., Veselov, M. S., Sviridenkova, N. V., Savchenko, A. G., Klyachko, N. L., Golovin, Y. I., Chufarova, N. V., Beloglazkina, E. K., & Majouga, A. G. (2015). Recent advances in the synthesis of Fe₃O₄@AU core/shell nanoparticles. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 394, 173–178. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2015.06.012>
- Zhang, R., Wang, S., Qing, S., Luo, Z., & Zhang, X. (2022). RESEARCH ON CONVECTIVE HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS OF Fe₃O₄ MAGNETIC NANOFLOUDS UNDER VERTICAL MAGNETIC FIELD. *Thermal Science*, 26(1), 667–679. <https://doi.org/10.2298/TSCI201215151Z>