

Analisis Tekno-Ekonomi pada Produksi Nanopartikel Emas (AuNP) dengan Metode Biosintesis menggunakan *Sargassum horneri* pada Skala Industri

Thyta Medina Salsabila Erlangga, Asep Bayu Dani Nandiyanto, Meli Fiandini

Program Studi Kimia, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung

Penulis Korespondensi: thytamedina@upi.edu

Abstract

Biosintesis nanopartikel emas (AuNP) menggunakan ekstrak Sargassum horneri (SH) dinilai lebih ekonomis dan terbukti menghasilkan nanopartikel emas yang berperan sebagai katalis dalam degradasi zat warna. Oleh karena itu, produksi nanopartikel emas perlu dikembangkan dalam skala industri. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan proyek biosintesis nanopartikel emas menggunakan ekstrak Sargassum horneri dalam skala industri. Metode evaluasi ekonomi menggunakan analisis terhadap beberapa parameter evaluasi ekonomi seperti Gross Profit Margin (GPM), Break Even Point (BEP), Cumulative Net Present Value (CNPV), Payback Period (PBP), dan Profitability Index (PI). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada skala industri, jumlah produksi Nanopartikel Emas dalam setahun adalah 132 L. Total harga yang dibutuhkan untuk produksi nanopartikel emas dalam setahun adalah USD 8.573.006,05, dengan penjualan tahunan USD 13.200.000, sehingga total biaya adalah USD 4.626.993,95 USD per tahun. Dalam kondisi ideal, analisis PBP menunjukkan bahwa proyek akan menguntungkan pada tahun ke-3, dan analisis PI menunjukkan bahwa biaya modal awal dapat diperoleh kembali dari tahun ke-3. Analisis terhadap beberapa kondisi tidak ideal menunjukkan bahwa kerugian proyek dapat terjadi. Berdasarkan evaluasi ekonomi, proyek ini dapat dilakukan dengan mengantisipasi kerugian yang akan terjadi akibat perubahan beberapa kondisi ideal.

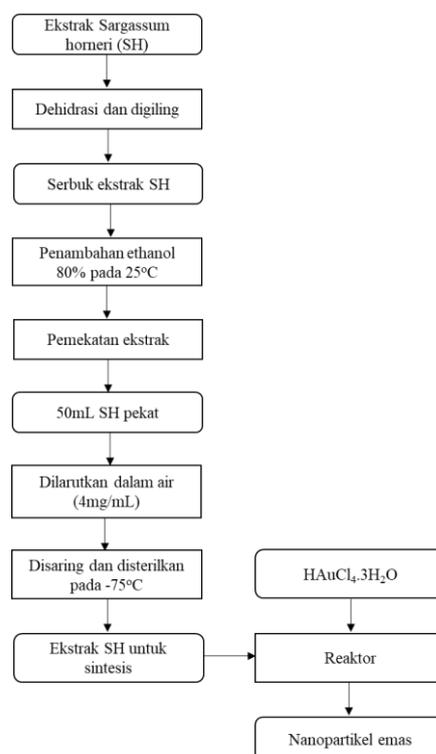
Kata kunci: tekno-ekonomi, nanopartikel emas, *Sargassum horneri*, biosintesis, katalis

1. PENDAHULUAN

Nanopartikel emas menerima lebih banyak perhatian dari para peneliti karena kemudahannya untuk disintesis, dapat berfungsi dengan bahan yang berbeda untuk tujuan tertentu karena kemudahan untuk mengakses partikelnya hingga ke dimensi nano [1]. Nanopartikel emas hasil sintesis biasanya ditemukan dengan ukuran 1-100 nm [2]. Nanopartikel emas memiliki sifat yang unik, seperti bentuk, ukuran, dan karakteristik permukaan nanopartikel emas yang dapat dimodifikasi. Selain itu, nanopartikel emas memiliki biokompatibilitas yang baik, kemampuan adsorpsi yang kuat, sitotoksitas yang rendah, potensi multifungsi, dan stabilitas yang tinggi [3-4]. Berdasarkan keunikan tersebut, nanopartikel emas banyak digunakan sebagai katalis [5-6], biosensor [7-8], penghantaran obat [9], pencitraan sinar-X [10], terapi fototermal [11], dan perangkat bioelektrik [12], dan masih banyak lagi.

Berdasarkan penelitian yang dilaporkan oleh Song et al. (2022), nanopartikel emas yang berfungsi sebagai katalis terutama dalam mendegradasi zat warna industri telah berhasil disintesis menggunakan metode biosintesis menggunakan ekstrak alga cokelat, yaitu *Sargassum horneri* (SH) [6], dimana biosintesis nanopartikel emas dengan alga dianggap lebih ramah lingkungan. Selain itu, proses biosintesis nanopartikel emas berlangsung cepat dan hemat biaya [13]. Penggunaan SH dalam biosintesis nanopartikel emas memiliki beberapa keunggulan, yaitu SH mudah diperoleh karena melimpah dan laju pertumbuhannya cepat [14], berperan sebagai reduktor, dan *capping agent* pada proses sintesis nanopartikel, serta menunjukkan aktivitas dan reaktivitas yang sangat baik sebagai katalis [6]. Biosintesis nanopartikel emas menggunakan SH pada skala laboratorium telah dilakukan oleh Song et al. (2022). Namun, hasil sintesis nanopartikel emas pada skala laboratorium jauh lebih sedikit dibandingkan kuantitas yang dibutuhkan untuk produksi skala industri. Oleh karena itu, metode biosintesis nanopartikel emas perlu dikembangkan pada skala industri yang layak secara ekonomi, dengan proses sintesis ditunjukkan pada Gambar 1.

Banyak penelitian telah menjelaskan berbagai metode sintesis nanopartikel emas. Namun sampai saat ini belum ada penelitian yang mempelajari evaluasi ekonomi sintesis nanopartikel emas menggunakan SH pada skala industri. Karena keterbatasan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan produksi nanopartikel emas menggunakan ekstrak alga SH berdasarkan aspek ekonomi. Evaluasi ekonomi dalam penelitian ini didasarkan pada penentuan parameter ekonomi dalam kondisi ideal serta variasi harga jual, harga bahan baku, harga utilitas, gaji tenaga kerja, serta pajak [15]. Berikut ini merupakan diagram skema biosintesis nanopartikel emas yang bisa dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram skema biosintesis nanopartikel emas.

2. METODE PENELITIAN

Evaluasi ekonomi dalam penelitian ini menggunakan metode berdasarkan analisis harga bahan baku atau bahan kimia, peralatan, dan perlengkapan khusus yang tersedia di berbagai situs *e-commerce* khususnya Amazon dan Alibaba. Semua data terkait harga ini kemudian dihitung dengan menggunakan software Microsoft Excel untuk menentukan nilai parameter evaluasi ekonomi. Analisis dilakukan dengan menerapkan perhitungan pada kondisi ideal. Parameter evaluasi ekonomi yang digunakan antara lain [16]:

- 1) *Gross Profit Margin* (GPM) merupakan parameter utama dalam memprediksi tingkat profitabilitas suatu proyek. Perhitungan GPM diperkirakan dengan mengurangi biaya penjualan produk dari biaya bahan baku.

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

dimana S adalah total penjualan, RM adalah total bahan baku, PC adalah kapasitas produksi, Q adalah kapasitas bahan baku yang dimasukkan dan digunakan dalam proses (kg/jam), dan t adalah waktu produksi.

- 2) *Break-Even Point* (BEP) adalah parameter dalam menentukan jumlah minimal nilai produk yang harus dijual pada harga tertentu untuk menutupi total biaya produksi. BEP dihitung dengan membagi biaya tetap dengan selisih antara harga jual dan biaya variabel.
- 3) *Cumulative Net Present Value* (CNPV) merupakan parameter dalam memprediksi kondisi proyek sebagai fungsi tahun produksi. CNPV dihitung dengan menambahkan *Net Present Value* (NPV) sejak dimulainya proyek. NPV adalah nilai yang mengungkapkan pengeluaran dan pendapatan bisnis.

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

- 4) *Payback Period* (PBP) adalah parameter dalam memperkirakan lamanya waktu (tahun) yang diperlukan suatu investasi untuk mengembalikan modal awal yang dikeluarkan. PBP dihitung ketika CNPV pertama

kali nol, yang dapat dilihat pada grafik antara CNPV/TIC (sumbu y) dan tahun (sumbu x). PBP ditunjukkan oleh titik yang sejajar dengan sumbu x.

- 5) PI (Profitability Index) adalah parameter untuk mengidentifikasi dampak biaya proyek. PI diperoleh dengan membagi CNPV dengan total biaya investasi (TIC).

Beberapa asumsi diperlukan untuk menghitung nilai parameter tersebut [15]. Penelitian ini menggunakan beberapa asumsi, antara lain: (1) 1 USD setara dengan Rp 15.573,55, (2) harga 1 gram HAuCl₄.3H₂O dengan kemurnian 99,9% dari www.sigmaaldrich.com adalah Rp 3.775.298,03, (3) gaji untuk 20 pekerja adalah 32.000 USD per tahun, (4) biaya utilitas yang harus dibayar setiap tahun adalah 397.2263 USD, (5) pajak penghasilan 10%, (6) diskon rata-rata 15%, (7) harga jual AuNP adalah 100 USD dalam 1 mL, (7) sintesis dilakukan 13 kali sehari, (8) proyek beroperasi selama 15 tahun.

3. HASIL DAN ANALISA

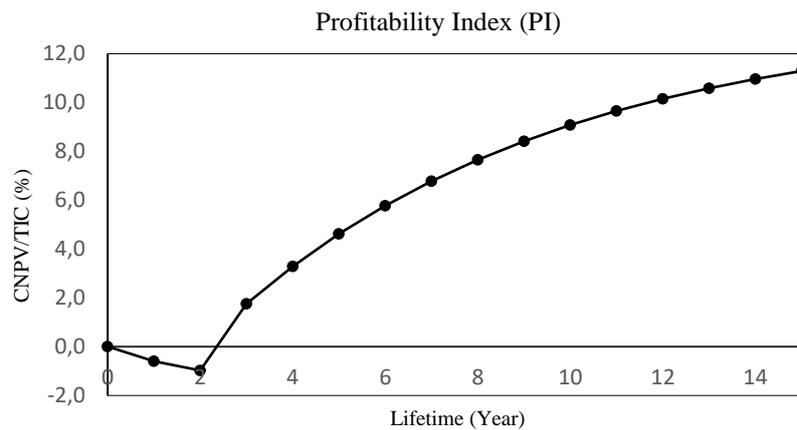
Biosintesis nanopartikel menggunakan mikroorganisme atau ekstrak tumbuhan sebagai agen bio-reduktor untuk *capping agent* dan stabilisasi, yang dapat menghilangkan kebutuhan akan reagen kimia tambahan pada proses sintesis biasanya. Metode biosintesis diketahui dapat mengontrol bentuk dan ukuran nanopartikel yang terbentuk karena adanya interaksi yang tepat antara biomolekuler dari ekstrak tanaman dan bahan anorganik dalam sintesis nanopartikel [17]. Ekstrak tumbuhan alami mengandung banyak metabolit sekunder dan biomolekul, termasuk flavonoid, alkaloid, terpenoid, senyawa fenolik, dan enzim. Kehadiran metabolit sekunder dalam ekstrak ini dapat mengaktifkan reduksi ion logam menjadi nanopartikel dalam proses biosintesis nanopartikel dan menjadi suatu proses atau langkah yang lebih ramah lingkungan.

Bahan baku yang digunakan untuk biosintesis nanopartikel emas adalah *Trihydrate Chloroauric Acid* (HAuCl₄.3H₂O) dan ekstrak alga *Sargassum horneri*. *Trihydrate Chloroauric Acid* adalah prekursor partikel Au berupa Au³⁺, yang direduksi menjadi Au⁰ oleh molekul bioaktif yang terkandung dalam ekstrak SH, dimana reaksi reduksi awalnya diamati dengan perubahan warna dari larutan kuning menjadi warna ungu [18]. *Sargassum horneri* merupakan alga coklat yang banyak mengandung senyawa polifenol, polisakarida sulfat, dan kromen [18, 19]. Polisakarida sulfat dalam SH bertindak sebagai zat pereduksi dan penstabil yang efisien. Selain itu, gugus hidroksil dan karboksil pada kromen dan polifenol yang terkandung dalam SH berfungsi sebagai agen pereduksi logam dan *capping agent* yang efektif untuk memberikan lapisan yang kuat pada nanopartikel logam dalam satu langkah [20].

Satu siklus biosintesis skala laboratorium membutuhkan 2 mg ekstrak SH dan 1 µL HAuCl₄.3H₂O. Jumlah ini telah dilipatgandakan dalam produksi nanopartikel emas untuk mencapai skala industri. Dengan demikian, pada skala industri diasumsikan jumlah ekstrak SH yang dibutuhkan per tahun adalah 342,2 kg dan HAuCl₄.3H₂O yang dibutuhkan per tahun adalah 67,6 kg, sehingga total produksi dalam satu tahun adalah 132 liter. Total biaya dalam satu tahun produksi adalah 8.573.006,05 USD, dengan total penjualan tahunan sebesar 13.200.000 USD. Asumsi ini akan ditinjau lebih lanjut dengan analisis evaluasi ekonomi dalam studi ini, dan nilai proyek akan ditunjukkan selama 15 tahun.

3.1. Kondisi Ideal

Grafik pada Gambar 2 menunjukkan hubungan antara tahun dengan nilai CNPV/TIC (%). Nilai CNPV/TIC ini mewakili *Profitability Index* (PI). Hasilnya menunjukkan bahwa kapasitas sangat penting untuk profitabilitas proyek. Penurunan kapasitas secara langsung mempengaruhi nilai CNPV akhir. Hal ini juga mempengaruhi nilai PBP. Dari Gambar 2, kapasitas minimum untuk mempertahankan proyek harus lebih dari 0%. Singkatnya, menggunakan kapasitas kurang dari 0% (nilai negatif) akan membuat proyek tidak menguntungkan [21]. CNPV/TIC (%) pada evaluasi ekonomi ini kurang dari 1 sampai tahun ke 2 (Gambar 2) dikarenakan perlunya biaya awal untuk membeli peralatan produksi nanopartikel. Nilai CNPV/TIC terendah terjadi pada tahun ke-2 sebesar -0,9746%. Namun dari tahun ke 3 sampai tahun terakhir proyek ini yaitu tahun ke 15 dapat dikatakan menguntungkan karena nilai CNPV/TIC terus meningkat. Pada tahun ke 3 pendapatan meningkat dan mencapai *Payback Periode* (PBP). CNPV/TIC negatif dari tahun 1 hingga tahun 3 (lihat Tabel 1). Kemudian nilai CNPV meningkat menjadi positif pada tahun ke-3 (1,7558%) dan terus meningkat hingga tahun ke-15 (11,2939%). Oleh karena itu, pembuatan nanopartikel emas (AuNP) dengan metode biosintetik menggunakan alga coklat *Sargassum horneri* dapat dikatakan menguntungkan karena membutuhkan waktu empat tahun untuk mengembalikan biaya investasi awal. Berikut ini merupakan grafik CNPV/TIC terhadap tahun dalam kondisi ideal yang bisa dilihat pada gambar 2.



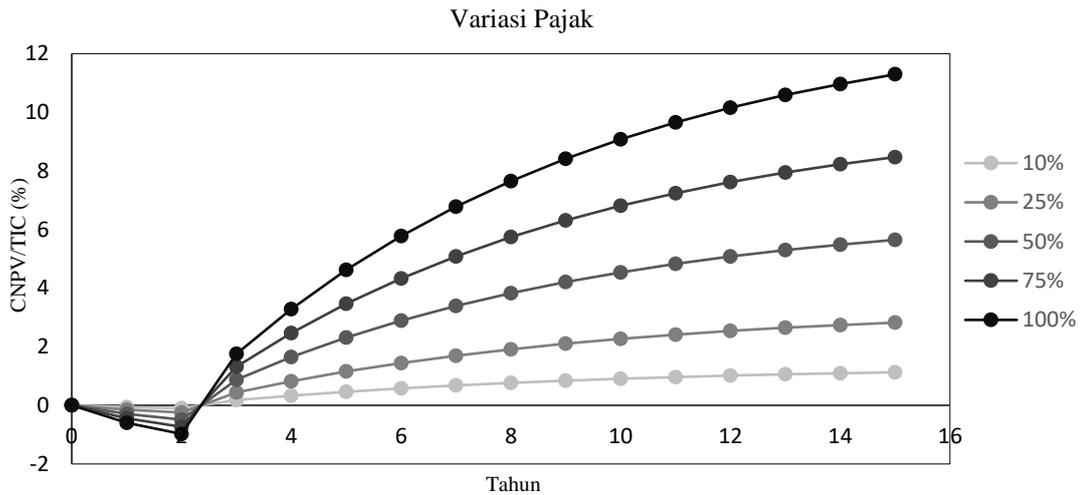
Gambar 2. Grafik CNPV/TIC terhadap tahun dalam kondisi ideal.

Tabel 1. Nilai CPNV tahunan pada kondisi ideal.

Lifetime (Years)	CPNV/TIC (%)
1	-0.5916
2	-0.9746
3	1.7558
4	3.2859
5	4.6164
6	5.7734
7	6.7794
8	7.6543
9	8.4150
10	9.0765
11	9.6517
12	10.1519
13	10.5868
14	10.9650
15	11.2939

3.2. Pengaruh Kondisi Eksternal (Variasi Pajak)

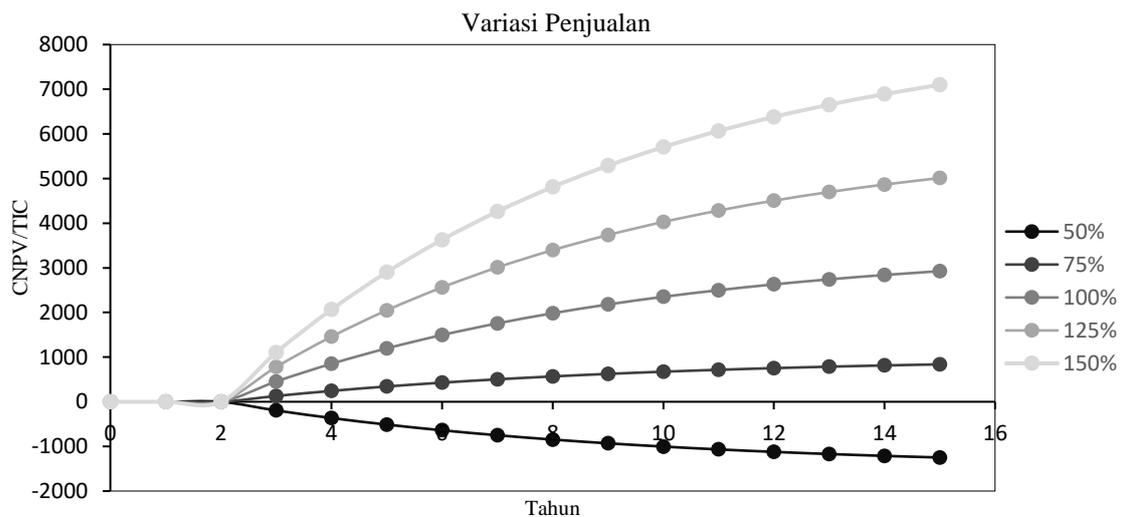
Salah satu faktor eksternal yang mempengaruhi keberhasilan suatu proyek adalah pajak penghasilan yang diberikan oleh suatu negara untuk membiayai berbagai pengeluaran publik. Grafik hubungan antara nilai CNPV/TIC selama 15 tahun dan variasi pajak ditunjukkan pada Gambar 3, dimana sumbu y adalah CNPV/TIC (%), dan sumbu x adalah tahun (lihat Gambar 3). Pajak yang meningkat setiap tahunnya akan mempengaruhi nilai CNPV, dan jika pajak meningkat, maka akan menghasilkan keuntungan perusahaan yang lebih rendah. Hal ini berkaitan dengan PBP, karena semakin tinggi pajak penghasilan maka PBP akan jauh lebih besar dari kondisi ideal. Berdasarkan grafik tersebut, baik pada pajak penghasilan 10% maupun 25%, 50%, 75%, dan 100%, penghasilan berhasil mengembalikan modal awal dalam jangka waktu yang relatif tidak berbeda jauh yaitu pada tahun 2,4 hingga tahun ketiga. Keuntungan proyek ini terus meningkat hingga mencapai titik PBP hingga tahun ke-15. Nilai CNPV/TIC pada tahun ke-15 untuk 10, 25, 50, 75, dan 100% adalah 1,12; 2,82; 5,64; masing-masing 8,47, dan 11,29%. Berikut ini merupakan grafik CNPV/TIC terhadap tahun untuk variasi pajak yang bisa dilihat pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Grafik CNPV/TIC terhadap tahun untuk variasi pajak

3.2. Variasi Penjualan

Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan antara CNPV/TIC dan tahun untuk variasi penjualan. Sumbu y adalah CNPV/TIC, dan sumbu x adalah seumur hidup (tahun). Analisis dilakukan dengan meningkatkan dan menurunkan penjualan sebesar 25% dan 50%, dimana penjualan yang ideal adalah 100%. Ketika penjualan turun 25% dan 50%, persentase penjualan masing-masing adalah 50% dan 75%. Ketika penjualan naik 10% dan 20%, persentase penjualan menjadi 125% dan 150%. Nilai CNPV/TIC untuk variasi penjualan tahun pertama dan kedua adalah sama, mengingat proyek ini masih dalam tahap pengembangan. Pengaruh penjualan terlihat setelah proyek berjalan selama lebih dari dua tahun. Berdasarkan grafik tersebut (Gambar 3), semakin tinggi penjualan maka semakin banyak keuntungan yang diperoleh, begitu pula sebaliknya. Berdasarkan analisis PBP, pengembalian investasi akan terjadi pada variasi penjualan 150, 125, 100, dan 75% pada tahun ke-2 sampai ke-3, sedangkan variasi harga penjualan 50% tidak akan mencapai PBP. Selisih laba yang dihasilkan setiap tahun akan berkurang seiring dengan penurunan penjualan, dan perusahaan akan mengalami kerugian jika penjualan kurang dari 50% dari kondisi ideal. Di sisi lain, laba tahunan akan meningkat sejalan dengan peningkatan penjualan dari kondisi ideal. Nilai CNPV/TIC pada tahun ke-15 untuk setiap variasi 150, 125, 100, 75, dan 50% adalah 7097.6, 5011.1, 2924.5, 837.9, dan -1248.6. Berikut ini merupakan CNPV/TIC terhadap tahun untuk variasi penjualan yang bisa dilihat pada gambar 4 dibawah ini.

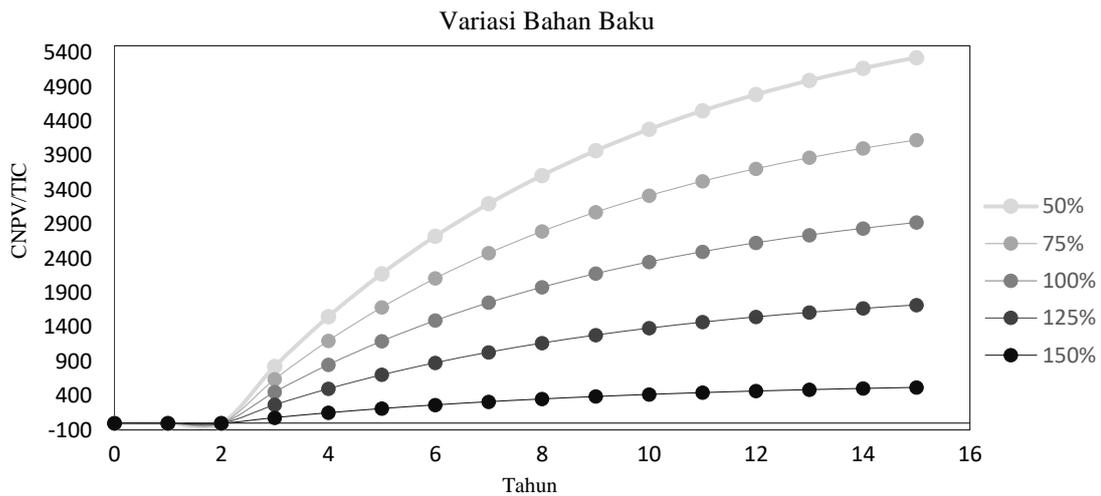


Gambar 4. CNPV/TIC terhadap tahun untuk variasi penjualan.

3.2. Perubahan Variable Cost

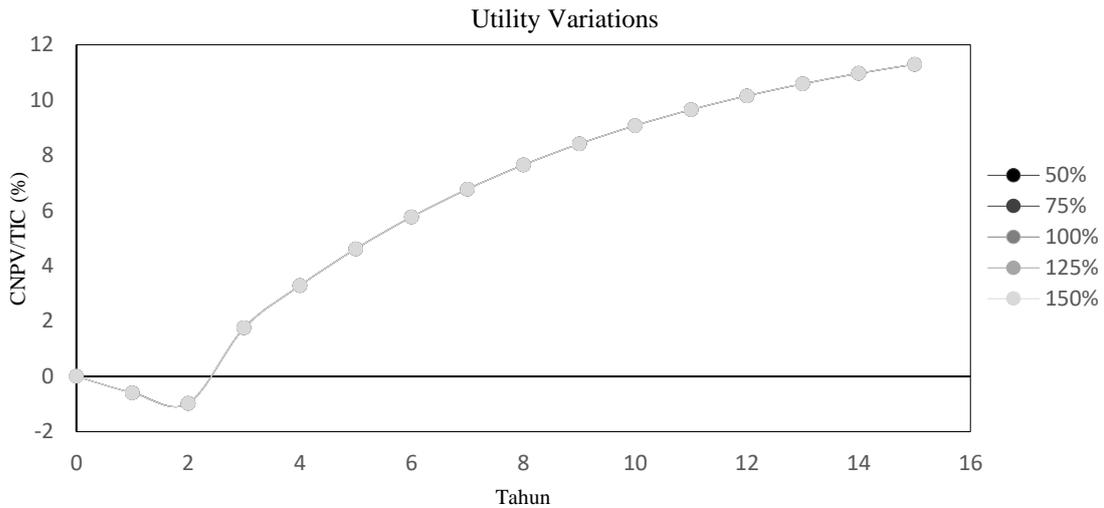
Analisis evaluasi ekonomi dalam penelitian ini juga memperhatikan beberapa faktor variasi *variable cost*, seperti bahan baku, utilitas, dan gaji tenaga kerja yang dapat mempengaruhi keberhasilan suatu proyek. Gambar 5 menunjukkan grafik hubungan antara CNPV/TIC dan variasi harga bahan baku. Sumbu y adalah

CNPV/TIC (%), dan sumbu x adalah Tahun. Harga bahan baku yang ideal adalah 100%. Analisis variasi bahan baku dilakukan dengan menaikkan dan menurunkan persentase harga bahan baku tersebut sebesar 25% dan 50% dari kondisi ideal. Jadi, variasi bahan baku yang digunakan adalah 50, 75, 100, 125, dan 150%. Nilai CNPV/TIC sama pada kondisi awal proyek (0-2 tahun) karena proyek masih dalam tahap pengembangan. Variasi bahan baku mulai mempengaruhi nilai CNPV/TIC setelah tahun ke-3 proyek berjalan. Penurunan bahan baku akan meningkatkan keuntungan, dan keuntungan perusahaan akan menurun ketika harga naik. Nilai CNPV/TIC pada tahun ke-15 untuk variasi bahan baku 50, 75, 100, 125, dan 150% adalah 5328,4, 4126,5, 2924,5, 1722,5, dan 520,6. Payback period (tahun ke-3) dengan keuntungan paling signifikan (CNPV/TIC = 829,07) dapat diperoleh dari variasi harga bahan baku sebesar 50%. Berikut ini merupakan CNPV/TIC terhadap tahun untuk variasi bahan baku yang bisa dilihat pada gambar 5 dibawah ini.



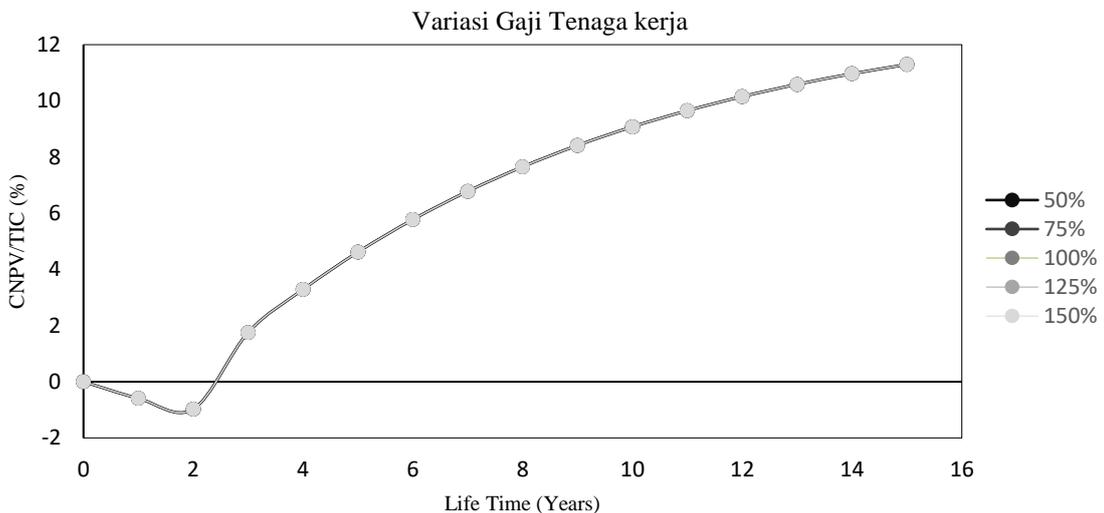
Gambar 5. CNPV/TIC terhadap tahun untuk variasi bahan baku.

Gambar 6 menggambarkan hubungan antara CNPV/TIC dan variasi harga utilitas. Sumbu y adalah CNPV/TIC (%), dan sumbu x adalah tahun. Analisis dilakukan dengan menaikkan dan menurunkan persentase harga utilitas sebesar 25 dan 50% dari harga ideal. Nilai utilitas yang ideal adalah 100%. Variasi harga utilitas adalah 50, 75, 100, 125, dan 150%. Nilai CNPV/TIC pada dua tahun pertama proyek sama karena proyek masih dalam tahap pengembangan. Pengaruh utilitas terhadap nilai CNPV/TIC dapat dilihat setelah tiga tahun perjalanan proyek. Berdasarkan hasil grafik (Gambar 6) terlihat bahwa tidak terdapat pengaruh yang signifikan terhadap variasi harga utilitas. Hal ini dapat disebabkan oleh harga utilitas yang relatif rendah sehingga variasi yang dilakukan relatif tidak terlalu mempengaruhi nilai CNPV/TIC terhadap variasi harga utilitas. Namun, proyek ini tetap bisa berjalan dan menghasilkan keuntungan. Nilai CNPV/TIC tahun ke-15 untuk variasi utilitas 50, 75, 100, 125, dan 150% adalah 11.2939181, 11.2939182, 11.2939182, 11.2939182, 11.2939182, dan 11.2939183%. Hasil PBP variasi utilitas 50, 75, 100, 125, dan 150% dapat diperoleh pada tahun ke-3. Periode pengembalian (tahun ke-3) dengan laba yang sama (CNPV/TIC = 3,3%) dapat diperoleh dari semua variasi harga utilitas. Berikut ini merupakan CNPV/TIC (%) terhadap tahun untuk variasi utilitas yang bisa dilihat pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. CNPV/TIC (%) terhadap tahun untuk variasi utilitas.

Gambar 7 menunjukkan grafik hubungan antara CNPV/TIC dan variasi gaji tenaga kerja. Sumbu y adalah CNPV/TIC (%), dan sumbu x adalah Tahun. Analisis dilakukan dengan menaikkan dan menurunkan persentase gaji tenaga kerja sebesar 25 dan 50% dari kondisi ideal. Gaji tenaga kerja ideal pada grafik adalah 100%. Variasi gaji tenaga kerja adalah 50, 75, 100, 125, dan 150%. Dari tahun 0 hingga tahun 2 nilai CNPV/TIC sama karena proyek masih dalam tahap pengembangan. Pengaruh variasi terhadap gaji tenaga kerja akan terlihat mulai tahun ke-3 proyek berjalan. Dengan semakin besar gaji tenaga kerja maka keuntungan akan semakin berkurang dan sebaliknya. Nilai CNPV/TIC pada tahun ke-15 untuk variasi gaji tenaga kerja 50, 75, 100, 125, dan 150% adalah 11.93911, 11.293915, 11.293918, 11.293922, dan 11.293925%. Nilai PBP untuk setiap variasi gaji pegawai 50, 75, 100, 125, dan 150% dicapai pada tahun ke-3. Payback period (tahun ke-3) dengan keuntungan yang relatif sama (CNPV/TIC = 3,286%) dapat diperoleh dari semua variasi gaji tenaga kerja. Berikut ini merupakan CNPV/TIC (%) terhadap tahun untuk variasi gaji tenaga kerja yang dapat dilihat pada gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. CNPV/TIC (%) terhadap tahun untuk variasi gaji tenaga kerja.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis ekonomi pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa produksi nanopartikel emas dengan metode biosintetis menggunakan alga *Sargassum horneri* cukup menjanjikan. Simulasi proyek ini dapat dikatakan bersaing dengan standar pasar modal PBP karena waktu pengembalian investasi yang relatif singkat (di tahun ketiga proyek berjalan). Metode biosintetis menggunakan *Sargassum horneri* dipilih karena mudah diperoleh, memiliki pengembangan yang cepat, ramah lingkungan, dan menghasilkan nanopartikel emas yang relatif stabil. Proyek ini juga layak untuk dilaksanakan dengan antisipasi kerugian yang akan terjadi akibat perubahan harga jual dan harga bahan baku.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Yari and N. Javanmardi, "Multifunctional Gold nanoparticle : as novel agents for cancer treatment," *J. Adv. Appl. NanoBio-Technologies*, vol. 3, no. 2, pp. 43–48, 2022.
- [2] E. C. Dreaden, A. M. Alkilany, X. Huang, C. J. Murphy, and M. A. El-Sayed, "The golden age: Gold nanoparticles for biomedicine," *Chem. Soc. Rev.*, vol. 41, no. 7, pp. 2740–2779, 2012, doi: 10.1039/c1cs15237h.
- [3] L. A. Dykman and N. G. Khlebtsov, "Gold Nanoparticles in Biology and Medicine: Recent Advances and Prospects," *Acta Naturae*, vol. 3, no. 2, pp. 34–55, 2011, doi: 10.32607/20758251-2011-3-2-34-56.
- [4] A. Sumaira *et al.*, "Gold-Based Nanomaterials for Applications in Nanomedicine," *Top Curr Chem*, vol. 370, pp. 169–202, 2016, doi: 10.1007/978-3-319-22942-3.
- [5] M. Abbas, H. H. Susapto, and C. A. E. Hauser, "Synthesis and Organization of Gold-Peptide Nanoparticles for Catalytic Activities," *ACS Omega*, vol. 7, no. 2, pp. 2082–2090, 2022, doi: 10.1021/acsomega.1c05546.
- [6] W. C. Song, B. Kim, S. Y. Park, G. Park, and J. W. Oh, "Biosynthesis of silver and gold nanoparticles using *Sargassum horneri* extract as catalyst for industrial dye degradation," *Arab. J. Chem.*, vol. 15, no. 9, p. 104056, 2022, doi: 10.1016/j.arabj.2022.104056.
- [7] X. Lu, X. Dong, K. Zhang, X. Han, X. Fang, and Y. Zhang, "A gold nanorods-based fluorescent biosensor for the detection of hepatitis B virus DNA based on fluorescence resonance energy transfer," *Analyst*, vol. 138, no. 2, pp. 642–650, 2013, doi: 10.1039/c2an36099c.
- [8] D. Lin, R. G. Pillai, W. E. Lee, and A. B. Jemere, "An impedimetric biosensor for *E. coli* O157:H7 based on the use of self-assembled gold nanoparticles and protein G," *Microchim. Acta*, vol. 186, no. 3, pp. 1–9, 2019, doi: 10.1007/s00604-019-3282-3.
- [9] J. Cheng, Y. J. Gu, S. H. Cheng, and W. T. Wong, "Surface functionalized gold nanoparticles for drug delivery," *J. Biomed. Nanotechnol.*, vol. 9, no. 8, pp. 1362–1369, 2013, doi: 10.1166/jbn.2013.1536.
- [10] M. A. MacKey, M. R. K. Ali, L. A. Austin, R. D. Near, and M. A. El-Sayed, "The most effective gold nanorod size for plasmonic photothermal therapy: Theory and in vitro experiments," *J. Phys. Chem. B*, vol. 118, no. 5, pp. 1319–1326, 2014, doi: 10.1021/jp409298f.
- [11] C. O. Silva *et al.*, "Bioproduction of gold nanoparticles for photothermal therapy," *Ther. Deliv.*, vol. 7, no. 5, pp. 287–304, 2016, doi: 10.4155/tde-2015-0011.
- [12] J. Im *et al.*, "Functionalized Gold Nanoparticles with a Cohesion Enhancer for Robust Flexible Electrodes," *ACS Appl. Nano Mater.*, vol. 5, no. 5, pp. 6708–6716, 2022, doi: 10.1021/acsnm.2c00742.
- [13] M. Ramakrishna, D. Rajesh Babu, R. M. Gengan, S. Chandra, and G. Nageswara Rao, "Green synthesis of gold nanoparticles using marine algae and evaluation of their catalytic activity," *J. Nanostructure Chem.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–13, 2016, doi: 10.1007/s40097-015-0173-y.
- [14] H. S. Kim *et al.*, "A comparative study of *Sargassum horneri* Korea and China strains collected along the coast of Jeju island South Korea: Its components and bioactive properties," *Algae*, vol. 33, no. 4, pp. 341–349, 2018, doi: 10.4490/algae.2018.33.11.15.
- [15] P. Maratussolihah, S. Rahmadiani, K. P. Tyas, G. Chelvina, and S. Girsang, "ASEAN Journal for Science and Engineering in Materials Techno-Economic Evaluation of Gold Nanoparticles Using Banana Peel (*Musa Paradisiaca*)," vol. 1, no. 1, pp. 1–12, 2022.
- [16] A. B. D. Nandiyanto, R. Ragadhita, and I. Istadi, "Moroccan Journal of Chemistry Techno-economic Analysis for the Production of Silica Particles from Agricultural Wastes," *J. Chem.*, vol. 8, pp. 801–818, 2020, [Online]. Available: <http://revues.imist.ma/?journal=morjchem&page=login>
- [17] H. R. El-Seedi *et al.*, "Metal nanoparticles fabricated by green chemistry using natural extracts: Biosynthesis, mechanisms, and applications," *RSC Adv.*, vol. 9, no. 42, pp. 24539–24559, 2019, doi: 10.1039/c9ra02225b.
- [18] S. Dharman, R. Kumar, and K. Shanmugasundaram, "Synthesis and characterisation of novel turmeric gold nanoparticles and evaluation of its antioxidant, anti-inflammatory, antibacterial activity for application in oral mucositis-an invitro study," *Int. J. Dent. Oral Sci.*, vol. 8, no. 5, pp. 2525–2532, 2021, doi: 10.19070/2377-8075-21000495.
- [19] H. S. Kim *et al.*, "Anti-allergy effect of mojabanchromanol isolated from *Sargassum horneri* in bone marrow-derived cultured mast cells," *Algal Res.*, vol. 48, no. May, p. 101898, 2020, doi: 10.1016/j.algal.2020.101898.
- [20] M. Mahdavi, F. Namvar, M. Bin Ahmad, and R. Mohamad, "Green biosynthesis and characterization of magnetic iron oxide (Fe₃O₄) nanoparticles using seaweed (*Sargassum muticum*) aqueous extract," *Molecules*, vol. 18, no. 5, pp. 5954–5964, 2013, doi: 10.3390/molecules18055954.
- [21] A. B. D. Nandiyanto, "Cost analysis and economic evaluation for the fabrication of activated carbon and silica particles from rice straw waste," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 13, no. 6, pp. 1523–1539, 2018.