KAJIAN TEKNO EKONOMI PRODUKSI BAHAN PROPILENA GLIKOL BERBASIS BIOMASSA VIA HIDROGENOLISIS GLISEROL

Techno-Economic Study on the Production of Biomass-based Propylene Glycol via Glycerol Hydrogenolysis

Galuh Wirama Murti, Arif Darmawan, Nesha Adelia, Nilasari, dan
Dorit Bayu Islam Nuswantoro

Pusat Teknologi Sumberdaya Energi dan Industri Kimia (PTSEIK)
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
Gedung 625 Kawasan PUSPIITEK Serpong - Tangerang Selatan 15314
Email: galuh.wirama@bppt.go.id

Diterima: 23 September 2020; Diperiksa: 13 Oktober 2020; Revisi: 16 November 2020; Disetujui: 7 Desember 2020

Abstract

Governmental policies that promote biofuels such as biodiesel have led to the generation a large amounts of glycerol waste as a low-cost raw material. The purpose of this paper is to present a techno-economic study on the production of biomass-based propylene glycol via glycerol hydrogenolysis, considering hydrogen feeds that partially or fully utilize renewable sources. For analysis and calculation, computer simulations are carried out using the Aspen Hysys V11 simulator. The techno-economic analysis is performed by modelling the propylene glycol synthesis process from glycerol, which is then used to calculate the facility capital cost and estimate operating costs to obtain an annual return on investment. Sensitivity analysis is also conducted for several parameters on a 36,000 ton/year propylene glycol plant. The results showed the production cost was 0.76 USD/kg or 10,802 IDR/kg when the hydrogen is generated from the natural gas steam-methane reforming (SMR) process. If the hydrogen is produced from the glycerol steam reforming process, which is fully renewable, the plant is not feasible, as indicated by a negative net present value (NPV).

Keywords: *techno-economy, propylene glycol, glycerol, glycerol hydrogenolysis, bio-based chemicals*

Abstrak

Kebijakan pemerintah untuk meningkatkan produksi biodiesel menghasilkan limbah gliserol dalam jumlah besar sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku yang murah dan mudah didapat. Tujuan penulisan paper ini adalah untuk memaparkan kajian teknoekonomi produksi propilena glikol, berbasis nabati dari gliserol dengan mempertimbangkan umpan hidrogen yang sebagian atau sepenuhnya memanfaatkan sumber-sumber terbarukan. Untuk analisis dan perhitungan, simulasi komputer dilakukan dengan bantuan Aspen Hysys V11 simulator. Analisis teknoekonomi dibuat dengan membuat model proses sintesis propilena glikol dari gliserol di mana kemudian digunakan untuk menghitung biaya modal fasilitas dan memperkirakan biaya operasi untuk mendapatkan laba atas investasi tahunan. Analisis sensitivitas terhadap beberapa parameter juga dilakukan pada plant propilena glikol berkapasitas 36.000 ton/tahun. Hasil kajian menunjukkan, biaya produksi USD0,76/kg atau IDR10.802/kg diperoleh ketika sumber hidrogen berasal dari proses steam-methane reforming (SMR) gas alam. Ketika umpan hidrogen berasal dari proses gliserol steam reforming yang merupakan sumberdaya terbarukan, maka plant menjadi tidak layak untuk didirikan yang ditunjukkan dengan nilai net present value (NPV) yang negatif.

Kata kunci: teknoekonomi, propilena glikol, gliserol, hidrogenolisis gliserol, produk kimia berbasis nabati

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan global akan bahan bakar dan bahan kimia saat ini sebagian besar mengandalkan sumberdaya fosil untuk memenuhinya. Sekitar 84% energi utama global berasal dari batubara, minyak bumi, dan gas (Company, 2020). Selain itu, sumberdaya fosil (minyak bumi, batubara, dan gas alam) juga digunakan sebagai bahan baku utama

dari industri kimia, seperti produksi ammonia, etilen, propilena, aliran C4 dan BTX aromatik, yang merupakan produksi bahan kimia hulu. Dari bahan kimia hulu, kemudian diproses lebih lanjut menjadi bahan kimia hilir seperti pupuk dan prekursor, monomer dan polimer, dan intermediat lain seperti propilena oksida, polikloroprena, asam *isophthalic*, dan sebagainya (Levi and Cullen, 2018). Hal ini

Secara konvensional, propilena glikol skala industri diproduksi melalui proses hidrasi propilena oksida pada 200-220°C dan 12 bar. Proses juga dapat dilakukan secara katalitik pada suhu yang lebih rendah yaitu sekitar 150-180°C (Chauvel and Lefebvre, 1989). Gambar 1 menunjukkan sintesis propilena glikol komersial dengan menggunakan *continuous stirred tank reactor* (CSTR).

$$\begin{array}{ccccccc}
 \begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ | \\ \text{CH} \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array} & + & \text{HOCl} & \longrightarrow & \begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ | \\ \text{CHCl} \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array} & \longrightarrow & \begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ | \quad \diagup \quad \diagdown \\ \text{CH} \quad \text{O} \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ | \\ \text{CHOH} \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array} \\
 \text{Propylene} & & & & \text{Propylene} & & \text{Propylene oxide} & & \text{Propylene glycol} \\
 & & & & \text{chlorohydrin} & & & &
 \end{array}$$

Dengan melihat potensi pasar yang cukup besar di Indonesia, kebutuhan produk propilena glikol yang besar diharapkan dapat diproduksi secara masif dan mampu mandiri dengan memanfaatkan sumberdaya berbasis nabati khususnya gliserol yang merupakan produk samping dari biodiesel. Produk propilena glikol berbasis nabati dapat disintesis melalui hidrogenolisis gliserol dengan menggunakan katalis Cu-ZnO-Al₂O₃ pada kondisi operasi 235 °C dan 40 bar. Reaksi global propilena oksida dan hidrogen menjadi propilena glikol dan air ditunjukkan pada persamaan (1). Katalis yang dibutuhkan tersedia secara komersial yang umum digunakan pada beberapa aplikasi industri. Katalis tersebut sama dengan katalis yang digunakan untuk sintesis metanol dan diproduksi oleh industri global, seperti Haldor Topsoe (MK-121 *catalyst*), BASF, dan lain-lain (Chatterjee *et al*, 2011).

Tujuan dari studi ini adalah untuk melakukan kajian secara teknis dan ekonomi produksi propilena glikol berbasis nabati dari gliserol dengan mempertimbangkan umpan hidrogen yang sebagian atau sepenuhnya dapat diperbarui. Analisis tekno ekonomi dibuat dengan membuat model proses sintesis propilena glikol dari gliserol yang digunakan untuk menghitung biaya modal

H₃PO₄ 85% hingga mencapai pH 2,5, akan terbentuk tiga lapisan produk yaitu bagian atas gumpalan asam lemak bebas, bagian tengah gliserol, dan bagian bawah endapan garam. Kemudian dipisahkan dengan cara sentrifugasi untuk memisahkan sabun.

Gambar 3 mendeskripsikan diagram alir proses propilena glikol dari gliserol mentah. Gliserol yang digunakan adalah gliserol mentah (*crude glycerol* atau *blonde*) yang biasanya masih mengandung sekitar 85% gliserol; 11,7% air; 3,2% metanol; dan 0,2% biodiesel (Chatterjee et al, 2011). Proses diawali dengan *pretreatment* gliserol mentah, karena terdapat kandungan asam lemak maka diperlukan penambahan asam fosfat untuk memisahkan sabun. Setelah dicampur dengan

Setelah itu, larutan gliserol dinetralkan dengan NaOH 5 M hingga pH 7. Setelah itu terbentuk endapan lagi berupa garam, yang dipisahkan dengan separator. Sehingga diperoleh larutan gliserol dengan kadar yang lebih tinggi, namun masih mengandung air. Gliserol tersebut dilewatkan dalam karbon aktif dan *ion exchange* untuk menghilangkan warna dan memisahkan garamnya. Kemudian untuk memisahkan air, maka gliserol didestilasi pada kondisi vakum. Setelah itu diperoleh gliserol dengan kandungan 99,8%.

Gambar 3. Diagram alir proses propilena glikol dari gliserol mentah

Reaktor yang digunakan adalah jenis *trickle-bed* yang dapat memberikan area kontak lebih luas antara gliserol dan hidrogen. Reaktor beroperasi pada suhu 235 °C dan tekanan 39,02 bar. Dalam proses tersebut digunakan katalis Cu-ZnO-Al₂O₃ dengan selektivitas produk propilena glikol sebesar 93,4 % dan konversi keseluruhan sekitar 99,5% (Chatterjee et al., 2011; Zhou et al., 2010). Produk keluaran reaktor digunakan untuk memanaskan

Produk keluaran reaktor dialirkan menuju alat penukar panas (*heat exchanger*) untuk memanaskan umpan sebelum ke reaktor, setelah itu menuju ke tangki separator untuk dipisahkan antara produk gas dan produk cair. Sebagian besar produk gas adalah hidrogen sisa reaktan, yang sebagian dibuang menuju *purge* dan sebagian lagi didaur-ulang menuju reaktor dengan kompresor. Sedangkan produk cair sebagian besar adalah propilena glikol dengan kemurnian sebesar 83,57 %, dan sisanya berupa air sebagai produk samping dari proses.

Produk cair yang dihasilkan berupa propilena glikol yang tidak murni dan masih mengandung air dialirkan menuju kolom destilasi untuk dipisahkan

antara air dan pengotor juga propilena glikol. Pada *bottom product* diperoleh propilena glikol dengan kemurnian 99,3%. Sedangkan, *top product* yaitu air dan pengotor yang lain yang kemudian dialirkan menuju pengolahan limbah (*wastewater treatment*).

2.2. Penentuan Kapasitas Plant Propilena Glikol

Berdasarkan data BPS (2015-2019), jumlah kebutuhan impor propilena glikol di Indonesia sebesar 35 juta kg pada 2015 dan sedikit meningkat sebesar 36 juta kg (atau sekitar 36 ribu ton) pada 2019. Oleh karena itu, ditentukan kapasitas plant ditentukan sebesar 36.000 ton per tahun.

Selain mempertimbangkan kebutuhan impor, perkiraan jumlah sumber bahan baku gliserol mentah juga dianalisis. Berdasarkan data HEESI – ESDM (2019), provinsi penghasil biodiesel terbesar di Indonesia berurutan adalah Riau dengan total kapasitas sebesar 4.528.735 kL, Jawa Timur sebesar 2.228.736 kL, Sumatera Utara sebesar 1.773.563 kL, Sumatera Selatan sebesar 885.058 kL dan Jawa Barat sebesar 857.699 kL. Dalam proses produksi biodiesel, akan dihasilkan produk samping berupa gliserin sebesar 10-20% dari total volume produk hasil transesterifikasi (Aziz et al., 2008). Tabel 2 menunjukkan estimasi jumlah gliserol mentah yang dihasilkan dalam proses produksi biodiesel. Terlihat bahwa sumber bahan baku gliserol mentah dapat dicukupi dari dalam negeri dengan memanfaatkan produk samping dari hasil produksi biodiesel.

Tabel 2. Estimasi jumlah gliserol mentah yang dihasilkan dalam proses produksi biodiesel.

Nama Daerah	Biodiesel (kL)	Gliserol* (kL)	Gliserol* (Ton)
Riau	4.528.735	503.192	634.022
Jawa Timur	2.228.736	222.873	280.820
Sumatera Utara	1.773.563	177.356	223.468
Sumatera Selatan	885.058	88.505	111.517
Jawa Barat	857.699	85.769	108.070

*Estimasi produk samping proses transesterifikasi yaitu gliserol sebesar 10% dari volume produk biodiesel.

2.3. Simulasi Proses Gliserol Mentah ke Produk Propilena Glikol

Plant dari propilena glikol terdiri atas 3 (tiga) proses yaitu *pretreatment* umpan gliserol, proses sintesis propilena glikol, dan pemurnian propilena glikol. Dalam perhitungan neraca massa dan energi pada tahap *pretreatment* gliserol mentah dilakukan secara manual. Sedangkan pada tahap proses sintesis propilena glikol dan pemurnian propilena glikol diselesaikan dengan simulator Aspen Hysys V11.

Penentuan harga peralatan pada tahap *pretreatment* gliserol mentah dilakukan secara manual, sedangkan sisanya dilakukan dengan perkiraan ekonomi dari Aspen Hysys V11.

2.4. Kajian Keekonomian

Penilaian kelayakan ekonomi didasarkan pada *net present value* (NPV), *internal rate of return* (IRR), dan *payback period*. Kelayakan ekonomi diperoleh ketika nilai NPV dan IRR berada di atas nol dan waktu pengembalian modal lebih pendek. Dalam studi ini, asumsi besaran *fixed capital* rencana pendirian *plant* tipikal yaitu 30% pada tahun ke-I dan 70% pada tahun ke-II, sedangkan biaya *working capital* 100% di tahun ke-III. Total investasi modal terdiri dari modal tetap langsung, modal kerja, dan biaya awal. Biaya operasional meliputi biaya bahan baku, tenaga kerja, fasilitas, laboratorium, utilitas, dan transportasi. Beberapa biaya lainnya diasumsi sesuai dengan parameter yang terlihat pada Tabel 3 (Sinnott and Towler, 2013).

Tabel 3. Asumsi Parameter Tekno-ekonomi

Perkiraan Biaya Fixed Capital Investment	Perolehan
Inside Battery Limits (ISBL)	Simulasi dan perhitungan detail peralatan
Offside Battery Limits (OSBL)	40% dari ISBL costs
Engineering and Construction costs	30% dari ISBL plus OSBL costs
Contingency charges	10% dari ISBL plus OSBL costs
Working Capital	10% - 20% dari <i>fixed capital investment</i>
Fixed costs	
Supervision cost	25% dari <i>operating labor</i>
Direct salary overhead	40% - 60% dari <i>operating labor plus supervision</i>
Maintenance	3% - 5% dari ISBL investment
Property taxes and insurance	1% - 2% dari ISBL <i>fixed capital</i>
Rent of land	1% - 2% dari ISBL plus OSBL investment
General plant overhead (human resources, research and development (R&D), information technology, finance, etc.)	1% dari <i>revenues</i>
Allocated environmental charges	Umumnya 1% dari ISBL plus OSBL cost

Diasumsikan modal yang dibutuhkan berasal dari investor. NPV adalah jumlah dari nilai sekarang dari pendapatan bersih tahunan yang diperoleh selama periode eksploitasi proyek dan didefinisikan seperti pada persamaan 2) (Sinnott and Towler 2013).

$$NPV = \sum_{k=0}^n \frac{C_k}{(1+i)^k} \dots\dots\dots(2)$$

dimana C_k = pendapatan bersih tahun ke-k periode eksploitasi proyek, i = tingkat diskonto, dan n = periode eksploitasi proyek.

IRR adalah tingkat diskonto dimana NPV adalah nol dan dapat didefinisikan seperti pada persamaan 3).

$$IRR = \sum_{k=0}^n \frac{C_k}{(1+i)^k} - C_0 \dots\dots\dots(3)$$

di mana C_0 = total biaya investasi.

Jangka waktu pengembalian modal (*payback period*) adalah waktu yang diperlukan untuk memulihkan investasi dan didefinisikan sebagai persamaan 4).

$$\text{Payback period} = \frac{\text{cost of investment}}{\text{annual cash inflow}} \dots\dots\dots(4)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam studi ini, proses propilena glikol dari gliserol mentah didetilkkan dengan perhitungan manual pada tahap *pretreatment* dan sebagian lainnya pada tahap sintesis dan pemurnian dimodelkan dengan menggunakan bantuan simulasi komputer Aspen Hysys v11. Hasil neraca massa dan energi didetilkkan peralatannya secara manual, sedangkan untuk hasil simulasi pada tahap sintesis dan pemurnian diekspor ke Aspen *Process Economic Analyzer*.

3.1. Biaya Produksi Propilena Glikol dari Sumberdaya Sebagian Terbarukan

Harga bahan baku gliserol mentah sebesar 170 USD/MT (Dias da Silva Ruy et al., 2020) dan hidrogen sebesar 1250 USD/MT (Dagdougui et al., 2018). Harga hidrogen tersebut diperoleh dengan asumsi bahwa hidrogen berasal dari gas alam via *steam methane reforming* (SMR), biaya bervariasi sekitar 1,25 USD/kg untuk skala besar, sedangkan skala kecil biaya produksi hidrogen sekitar 3,5 USD/kg dengan harga gas alam sekitar 0,3 USD/kg. Biaya bahan baku termasuk dalam *variabel cost* selain itu bahan habis pakai (*consumables*) seperti bahan kimia untuk *pretreatment* gliserol mentah. Tabel 4 menunjukkan biaya produksi dari proses propilena glikol dari sumberdaya sebagian terbarukan berkapasitas 36.000 ton/tahun. Oleh karena bahan baku hidrogen yang digunakan berasal dari *steam methane reforming* (SMR), maka produk propilena glikol yang dihasilkan tidak sepenuhnya terbarukan.

Tabel 4. Perkiraan biaya produksi proses propilena glikol dengan berkapasitas 36.000 ton/tahun.

Estimasi Biaya Produksi dan Margin (USD)	
Total Capital Cost	11,952,877.52
Variable costs	22,783,595.44
Fixed costs	1,713,745.20
Revenues	36,067,680.00
Margin and Profits	
Margins (gross)	13,284,084.56
Gross profit	11,570,339.36
Total Cost of Production (TCOP)	26,819,534.19

Dari basis perhitungan di atas diperoleh biaya produksi total sebesar USD26,819,534.19 atau biaya produksi propilena glikol sebesar USD0,76/kg atau IDR10.802/kg. Dari indikator ekonomi, *plant* propilena glikol dari sumberdaya sebagian terbarukan (hidrogen dari gas alam) dengan kapasitas 36.000 ton/tahun layak untuk didirikan, seperti yang terlihat pada Tabel 5. Dengan nilai NPV pada tahun ke-10 sebesar

USD13,619,959 dan IRR sebesar 48% yang lebih dari nol, maka dapat disimpulkan bahwa *plant* propilena glikol dari gliserol dan hidrogen dari proses SMR gas alam layak untuk didirikan.

Tabel 5. Analisis ekonomi *plant* propilena glikol dengan kapasitas 36.000 ton/tahun.

Parameter Analisis Ekonomi	Jumlah
Average cash flow (USD/tahun)	7,138,885
Simple pay-back period (tahun)	1.7
Return on investment (10 tahun)	64.4%
Return on investment (15 tahun)	72.3%
NPV 10 tahun (USD)	13,619,959
15 tahun (USD)	19,337,781
20 tahun (USD)	22,278,324
IRR 10 tahun	48.0%
15 tahun	49.7%
20 tahun	49.9%

3.2. Biaya Produksi Propilena Glikol dari Sumberdaya Terbarukan

Dalam proses sintesis tersebut, produk propilena glikol yang dihasilkan tidak sepenuhnya berasal dari sumberdaya terbarukan karena hidrogen diperoleh dari *steam reforming* gas alam. Oleh karena itu, dalam studi ini juga dibandingkan, bila hidrogen dihasilkan dari sumberdaya terbarukan salah satunya seperti *gliserol steam reforming* (GSR) dengan reaksi umum seperti pada persamaan 5) (Nayernia et al., 2018; Ahmed & Papadias, 2010)

Reaksi sangat endotermis dan kondisi operasi GSR yaitu pada 475 – 575 °C dan tekanan 1 – 5 atm dengan rasio air terhadap gliserol sebesar 3 – 12. Jenis katalis yang digunakan adalah katalis Ni–Cu–Al (Nayernia et al., 2018).

Dengan harga gliserol mentah sebesar USD0,22/kg melalui proses GSR diperoleh hidrogen seharga USD4,86/kg (Dagdougui et al., 2018). Tabel 6 menunjukkan perkiraan biaya produksi propilena glikol dari sumberdaya terbarukan berkapasitas 36.000 ton/tahun.

Tabel 6. Perkiraan biaya produksi proses propilena glikol dari sumberdaya terbarukan berkapasitas 36.000 ton/tahun.

Estimasi Biaya Produksi dan Margin (USD)	
Total Capital Cost	11,952,877.52
Variable costs	42,196,862.38
Fixed costs	1,713,745.20
Revenues	36,067,680.00
Margin and Profits	
Margins (gross)	-6,129,182.38
Gross profit	-7,842,927.58
Total Cost of Production (TCOP)	46,232,801.12

Data dari Tabel 6 menunjukkan bahwa hidrogen dari proses GSR tidak layak digunakan sebagai sumber bahan baku. Harga hidrogen meningkat

hampir 4 kali bila dibandingkan dengan harga hidrogen dari proses SMR gas alam. *Margin* dan nilai keuntungan dari proses propilena glikol dari sumberdaya terbarukan terhitung negatif dengan biaya produksi propilena glikol total yang mencapai sebesar USD46,232,801.12 atau biaya produksi propilena glikol USD128/kg atau IDR18.621/kg. Selain itu, analisis ekonominya menunjukkan NPV negatif yang berarti *plant* tersebut tidak layak didirikan seperti yang terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Analisis ekonomi plant propilena glikol dari sumberdaya terbarukan dengan kapasitas 36.000 ton/tahun.

Parameter Analisis Ekonomi	Jumlah
Average cash flow (USD/tahun)	-5,680,886
Simple pay-back period (tahun)	-2.1
Return on investment (10 tahun)	-57.4%
Return on investment (15 tahun)	-63.1%
NPV 10 tahun (USD)	-29,227,896
15 tahun (USD)	-33,966,949
20 tahun (USD)	-36,225,321
IRR 10 tahun	-
15 tahun	-
20 tahun	-

3.3. Analisis Sensitivitas

Dalam kajian tekno-ekonomi ini, analisis sensitivitas dilakukan pada beberapa parameter seperti dalam Tabel 8 (Sinnott & Towler, 2013).

Tabel 8. Parameter analisis sensitivitas

Parameter	Kisaran variasi
Harga penjualan produk	±20% dari basis
Umpan Gliserol / Hidrogen	-10% - 30% dari basis
Biaya tetap	-20% - 100% dari basis
Biaya Modal ISBL	-20% - 50% dari basis
Biaya Modal OSBL	-20% - 50% dari basis

Gambar 4 memperlihatkan analisis sensitivitas pada IRR 15 tahun terhadap beberapa parameter pada Tabel 8. Harga propilena glikol dengan kemurnian 99% di pasaran sekitar USD1/kg atau IDR14.500/kg. Bila harga penjualan tersebut diturunkan menjadi USD0,8/kg atau IDR11.600/kg dengan nilai IRR yang masih positif walau turun hingga 14,43%. Namun, layak atau tidaknya suatu proyek untuk diimplementasikan tergantung dari MARR (*Minimum Acceptable Rate of Return*) yang ditentukan oleh pengambil keputusan (Sinnott & Towler, 2013). Bila harga penjualan propilena glikol meningkat 20%, maka IRR dalam 15 tahun sebesar 78,46%. Hal ini menunjukkan bahwa harga penjualan produk sangat berpengaruh terhadap kelayakan plant tersebut.

Gambar 4. Analisis sensitivitas pada IRR plant propilena glikol berkapasitas 36.000 ton/tahun

Harga umpan gliserol mentah dan hidrogen divariasikan dalam kisaran -10% hingga 30% dari basis harga, diperoleh IRR dalam 15 tahun hampir sekitar 52,6 – 56 % dan turun menjadi 27,3 – 40,81 % yang masih dalam batas layak untuk didirikan.

Biaya modal tetap (*fixed capital costs*) adalah biaya *Inside Battery Limits* (ISBL) yang termasuk biaya langsung (peralatan, sistem perpipaan, valves, insulasi, katalis, biaya konstruksi gedung, dan instalasi) dan biaya tidak langsung (biaya konstruksi, biaya tenaga kerja); *Offside Battery Limits* (OSBL) yang termasuk pembangkit listrik, mesin turbin, boiler, menara pendingin, pipa air, fasilitas muatan, keamanan lokasi; biaya teknik atau biaya kontraktor (*engineering costs*); dan biaya kontijensi (*contingency charges*) kemudian

ditambah dengan modal kerja (*working capital*). Ketika biaya tetap divariasikan dalam kisaran -20% hingga 100% dari basis, nilai IRR pada tahun ke 15 terendah mencapai 27,32% dan tertinggi 59,17% yang menunjukkan bahwa saat biaya tetap berkurang 20% dari basis, *plant* tersebut masih layak didirikan. Masing-masing biaya modal ISBL dan OSBL divariasikan pada kisaran -20% hingga 50% dari basis, nilai IRR dalam 15 tahun menunjukkan hasil yang layak.

4. KESIMPULAN

Produk samping industri biodiesel yang melimpah berupa gliserol mentah dapat diolah lebih lanjut sebagai produk kimia lain yang mempunyai nilai

tambah. Sintesis propilena glikol dapat dilakukan melalui proses hidrogenasi gliserol dengan katalis $\text{Cu-ZnO-Al}_2\text{O}_3$. Dari hasil kajian teknoekonomi, biaya produksi USD0,76/kg atau IDR10.802/kg diperoleh ketika umpan hidrogen berasal dari proses SMR gas alam, sehingga produk propilena glikol yang didapatkan tidak sepenuhnya dari sumberdaya terbarukan. Ketika umpan hidrogen berasal dari proses GSR yang merupakan sumberdaya terbarukan, maka plant menjadi tidak layak untuk didirikan yang ditunjukkan dengan nilai NPV yang negatif. Analisis sensitivitas dilakukan terhadap beberapa parameter dan terlihat bahwa harga penjualan sangat mempengaruhi nilai IRR selama 15 tahun. Pada harga penjualan -20% dari basis, nilai IRR 15 tahun menurun hingga 14,4% yang mana nilai tersebut kurang menarik bagi investor. Namun pada variasi parameter yang lain seperti, harga umpan, biaya modal tetap, ISBL, dan OSBL diperoleh nilai IRR yang positif yang menunjukkan bahwa produksi propilena glikol berkapasitas 36.000 ton/tahun dari umpan gliserol dan hidrogen yang berasal dari SMR gas alam layak untuk didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, A.C., Lasnawatin, F., Prananto, A.B., Suzanti, V.M. (2020). Handbook of energy and economic statistic of Indonesia 2019. Ministry of Energy and Mineral Resources.
- Ahmed, S. and Papadias, D. (2010). Hydrogen from glycerol: a feasibility study.
- Aziz, I., Nurbayti, S., Luthfiana, F. (2008) Pemurnian gliserol dari hasil samping pembuatan biodiesel menggunakan bahan baku minyak goreng bekas. *J Kim Val* 1: . doi: 10.15408/jkv.v1i3.226
- BPS-Statistics Indonesia (2019). Buletin statistik perdagangan luar negeri impor Desember 2019
- BPS-Statistics Indonesia (2015). Buletin statistik perdagangan luar negeri impor Desember 2015
- Chatterjee, K., Hall, K., Tell, S. (2011). Glycerol to propylene glycol.
- Sr Des Reports Chauvel, A., Lefebvre, G. (1989) Petrochemical processes, Technip Company, B.P. (2020) Statistical review of world energy.
- Dagdougui, H., Sacile, R., Bersani, C., Ouammi, A. (2018). Hydrogen production and current technologies. In: *Hydrogen Infrastructure for Energy Applications*. Elsevier, pp 721.
- Dias da Silva Ruy, A., Luíza Freitas Ferreira, A., Ézio Bresciani, A., Maria de Brito Alves, R., Antônio Magalhães Pontes, L. (2020). Market prospecting and assessment of the economic potential of glycerol from biodiesel. In: *Biomass [Working Title]*. IntechOpen.
- ESDM (2015). Peraturan Menteri ESDM No. 12 Tahun 2015 tentang Perubahan Ketiga Atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 32 Tahun 2008 tentang Penyediaan, Pemanfaatan Dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati (Biofuel) Sebagai Bahan Bakar Lain.
- Fogler, H.S. (1999). *Elements of chemical reaction engineering*. Third edition. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall PTR, [1999] ©1999.
- Jiménez, R.X., Young, A.F., Fernandes, H.L.S. (2020). Propylene Glycol From Glycerol: Process evaluation and break-even price determination. *Renew Energy* 158:181191 . doi: 10.1016/j.renene.2020.05.126.
- Levi, P.G., Cullen, J.M. (2018) Mapping global flows of chemicals: from fossil fuel feedstocks to chemical products. *Environ Sci Technol* 52:17251734 . doi: 10.1021/acs.est.7b04573.
- Nayernia, Z., Kazemeini, M., Larimi, A. (2018). Catalytic steam reforming of glycerol: a simulation with MATLAB.
- Nijhuis, T.A., Makkee, M., Moulijn, J.A., Weckhuysen, B.M. (2006). The production of propene oxide: Catalytic processes and recent developments. *Ind. Eng. Chem. Res.* 45:34473459.
- Sara, M., Rouissi, T., Brar, S.K., Blais, J.F. (2016) Propylene glycol. in: *platform chemical biorefinery*. Elsevier, pp 77100.
- Sinnott, R.K., Towler, G. (2013). *Chemical engineering design*. Elsevier Ltd
- Vaishali, V., Naren, P.R. (2016). Simulation of hydroperoxide process for the production of propylene oxide. In: *Recent Advances in Chemical Engineering*. Springer Singapore, pp 311318.
- Zhou, Z., Li, X., Zeng, T., Hong, W., Cheng, Z., Yuan, W. (2010). Kinetics of hydrogenolysis of glycerol to propylene glycol over $\text{Cu-ZnO-Al}_2\text{O}_3$ catalysts. *Chinese J Chem Eng* 18:384390 . doi: 10.1016/S1004-9541(10)60235-2