



PRARANCANGAN PABRIK PEMBUATAN MONOETILEN GLIKOL SEBAGAI CAMPURAN LARUTAN ANTI-FREEZE DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) MENGGUNAKAN PROSES KATALIK HIDROGENASI DENGAN KAPASITAS PRODUKSI 50.000 TON/TAHUN

Corry Tidarini R.^{*}, Ditya Anastasya M. R.¹, Zuhriah Mumtazah¹

¹Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan Tegalboto No.37, Jember 68121, East Java, Indonesia

^{*}Corresponding Author: corrytidarini21@gmail.com

Abstrak

Pabrik Monoetilen Glikol (MEG) berbasis Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dirancang untuk memenuhi kebutuhan nasional sekaligus mengurangi dampak lingkungan limbah perkebunan sawit. MEG diproduksi melalui proses hidrogenasi katalitik dengan kapasitas 50.000 ton/tahun, berlokasi di Kotawaringin Barat, Kalimantan Tengah, yang dipilih berdasarkan ketersediaan bahan baku, akses transportasi, dan utilitas pendukung. Proses produksi meliputi empat tahap utama: (1) Persiapan bahan baku (penggilingan TKKS), (2) Pre-treatment alkali untuk pemisahan lignin, (3) Reaksi hidrogenasi katalitik dengan katalis Ni-W pada suhu 240–280°C dan tekanan 5–6 atm, serta (4) Pemurnian produk melalui distilasi. Neraca massa menunjukkan efisiensi konversi dengan input TKKS 6.313,13 kg/jam dan output MEG 2.682,66 kg/jam. Analisis ekonomi mengindikasikan kelayakan proyek dengan Return on Investment (ROI) 48,05%, Break Even Point (BEP) 24,20%, dan payback period 2 tahun 1 bulan. Pabrik ini tidak hanya mengurangi ketergantungan impor MEG tetapi juga memberikan solusi berkelanjutan bagi pengelolaan limbah TKKS.

Kata kunci: Monoetilen Glikol (MEG), Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), Hidrogenasi Katalitik, Neraca Massa-Energi, Kelayakan Ekonomi.

1. Pendahuluan

Industri perkebunan kelapa sawit, baik yang memiliki pabrik pengolahan maupun yang tidak, berpotensi mencemari lingkungan melalui limbah yang dihasilkannya. Limbah kelapa sawit meliputi limbah padat (tandan kosong, cangkang, dan sabut), limbah cair (Palm Oil Mill Effluent atau POME), serta limbah gas. Limbah padat dari pengolahan kelapa sawit dapat mencapai 230 kg tandan kosong, 65 kg cangkang, dan 130 kg sabut per ton kelapa sawit (Louw, Farzad, and Görgens 2023). Limbah cair, yang sering kali mengandung bahan berbahaya seperti BOD, COD, dan padatan tersuspensi, serta

limbah gas yang terdiri dari CO₂ dan metana, turut menambah potensi pencemaran. Dalam keseluruhan proses pengolahan, sekitar 55%–67% dari total produksi kelapa sawit menjadi limbah.

Pada tahun 2019, Provinsi Kalimantan Tengah menghasilkan minyak sawit sebesar 7.230.094 ton, atau sekitar 24,24% dari total produksi nasional. Pengolahan satu ton Tandan Buah Segar (TBS) dapat menghasilkan limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) hingga 23%, atau sekitar

230 kg. Berdasarkan laporan dari Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BPDPKS), limbah padat hasil pengolahan TBS di pabrik kelapa sawit di Indonesia mencapai 31 juta ton, yang membutuhkan penanganan serius sesuai dengan prinsip pengelolaan lingkungan berkelanjutan (Barlianti et al. 2015).

Kebutuhan bahan kimia di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan industri dan permintaan konsumen. Sebagian besar sektor industri sangat bergantung pada bahan kimia dalam proses



produksinya, sehingga kebutuhan akan bahan-bahan penunjang industri, termasuk bahan pembantu, semakin tinggi. Salah satu bahan kimia yang masih sangat dibutuhkan saat ini adalah Monoetilen Glikol (MEG) yang juga dikenal sebagai etilen glikol atau 1,2-etandiol. MEG adalah senyawa organik yang terbuat dari etilen oksida yang direaksikan dengan air (Law et al. 2020). MEG adalah alkohol non-viskos yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak mudah menguap. MEG digunakan sebagai bahan campuran dalam serat poliester dan polietilena tereftalat, yang kemudian diproses menjadi botol, kain, dan wadah kemasan. MEG juga digunakan sebagai media pendingin dalam sistem pemanas dan pendingin, cairan rem hidrolik, tinta printer, tinta bantalan stempel, dan tinta untuk pena bolpoin (Norhanifah, Norliza, and Rafidah 2022)

Di Indonesia, kebutuhan nasional monoetilen glikol pada tahun 2013 adalah sebesar 406.995 ton/tahun. Kebutuhan monoetilen glikol di Indonesia salah satunya dipasok oleh PT Polychem Indonesia Tbk merupakan pabrik pertama dan satu-satunya di Asia Tenggara yang memproduksi etilen glikol.

Tabel 1. Kebutuhan Nasional Monoetilen Glikol

Tahun	Produksi (ton)	Konsumsi (ton)	Impor (ton)	Ekspor (ton)
2015	198.000	673.208	492.791	34.034
2016	198.000	455.487	475.209	18.431
2017	219.000	619.590	257.487	51.792
2018	231.000	653.027	400.590	76.791
2019	188.000	620.047	422.028	43.468
2020	137.000	508.882	432.048	29.571
2021	234.000	651.505	371.882	4.355

Kapasitas produksi Monoetilen Glikol dibuat berdasarkan pertumbuhan jumlah impor, produksi dalam negeri, konsumsi dalam negeri, serta ekspor (Kusnarjo, 2010). Pabrik akan didirikan pada tahun 2027.

$$F = F_0(1 + i)^n \quad (1.1)$$

Dengan :

F : Jumlah produk pada akhir tahun (ton)

F₀ : Jumlah produk pada tahun pertama (ton)

I : Pertumbuhan rata-rata per tahun (%)

N : Selisih tahun yang diperhitungkan

Dari perhitungan kapasitas tersebut, ditetapkan kapasitas pabrik baru Monoetilen Glikol sebesar 21% dari kapasitas produksi tersebut atau sebesar 50.574,93 ton/tahun ~ 50.000 ton/tahun.

Berikut pertimbangan penentuan kapasitas:

1. Dapat memenuhi 50% kebutuhan butil asetat dalam negeri
2. Membuka lapangan pekerjaan baru
3. Mempertimbangkan bahan baku dalam negeri sehingga tidak perlu impor
4. Mengurangi kebutuhan impor dari butil setat

2. Deskripsi Proses

Perancangan Pabrik butil asetat (602) ini berbahan baku dari selulosa TKKS (C₆H₁₀O₅) yang direaksikan an hidrogen, dibantu katalis Nickel-gsten (Ni-W) reaksi berlangsung pada 240°C dan tekanan 6 atm pada or hidrogenasi. Pembuatan etilen glikol ini melalui tiga tahapan proses yaitu:

1. Unit persiapan bahan baku Proses dimulai saat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang berada didalam tangki penyimpanan (F-110) diangkut menggunakan conveyor (J-111) dengan rate bahan baku 6313,13 kg/jam. Bahan baku yang masih berupa serat utuh perlu dimasukkan kedalam grinder atau hammer mill (C-120) untuk dilakukan proses penggilingan dan penyaringan. TKKS akan dihancurkan sekaligus di saring hingga berukuran 1-10 µm untuk meningkatkan luas permukaan dan memudahkan proses pre-treatment. TKKS halus tersebut kemudian dimasukkan ke conveyor (J-121) untuk masuk ke tangki mixer sebelum dilakukan pre-treatment untuk proses lignifikasi dengan bantuan larutan NaOH.
2. Unit Pretreatment
Pada tahap ini alkali (NaOH) padat didalam tangki penyimpanan (F-130) akan diangkut menggunakan conveyor (J-131) kedalam mixer tank (M-220) untuk dilarutkan air (H₂O) menggunakan rasio (1:9) dengan suhu 30°C. Konsentrasi 10%NaOH terbentuk dan panas yang terbentuk dari proses tersebut adalah 61 °C. Selanjutnya perlu dipanaskan

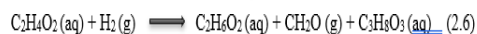
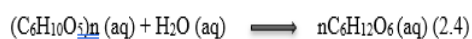


lagi menggunakan heater (E-222) hingga mencapai suhu 121 °C, dengan mekanisme pertukaran yaitu fluida dingin (larutan NaOH) akan melewati tube pada heater dan kontak dengan fluida panas (saturated steam 130°C) dari shell yang dilalui steam. Larutan alkali yang dipanaskan kemudian dialirkan menggunakan pompa sentrifugal (L-221) kedalam mixer tank (M-230) untuk dicampurkan dengan partikel halus dari hasil penggilingan. Proses ini memulai reaksi pre-treatment di mixer tank pre-treatment dengan kondisi operasi suhu 121 °C dan tekanan 1 atm selama 60 menit.

3. Unit Reaksi

Reaksi Hidrolisis Serat selulosa dari tahap pre-treatment dinaikkan tekanannya menggunakan pompa sentrifugal (L-241) hingga tekanan 6 atm dan dinaikkan suhunya menjadi 240 °C menggunakan heater (E-242) agar sesuai kondisi operasi proses hidrogenasi. Setelah itu fase larutan dialirkan kedalam fixed bed reactor (R-310). Pada tahap ini, selulosa dipecah menjadi glukosa (gula sederhana) melalui proses hidrolisis dengan bantuan katalis tungsten (W) atau nikel (Ni). Selulosa dipecah menjadi glukosa, yang merupakan prekursor untuk tahapan berikutnya

Adapun reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Produk keluar dari reaktor(R-310) kemudian dialirkan menuju unit pemurnian.

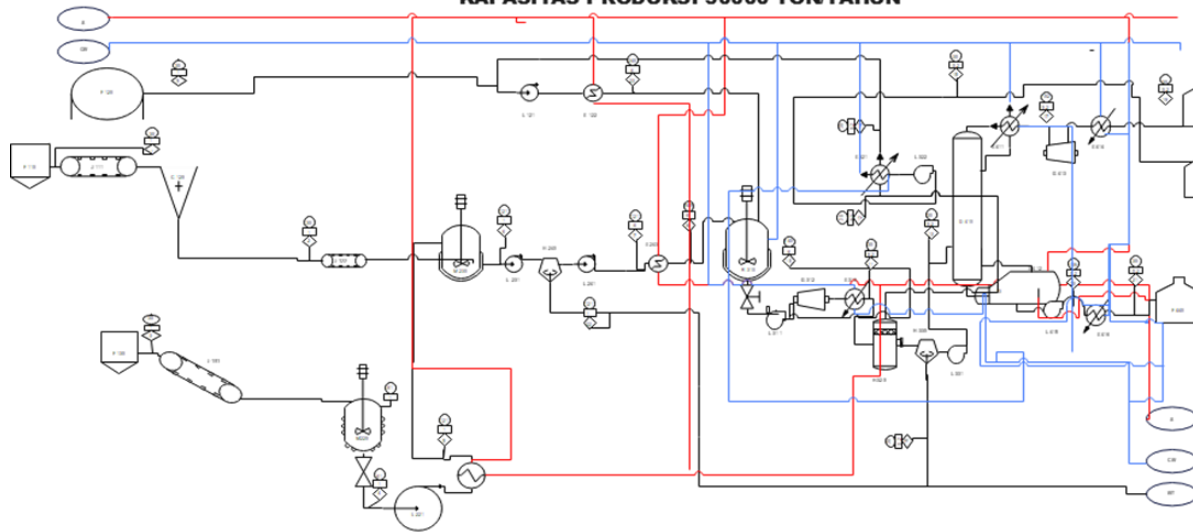
4. Unit Pemurnian

Campuran produk yang terdiri dari MEG dan produk sampingan dialirkan menggunakan pompa (L-311) ke expansion valve (G-312) untuk menurunkan tekanan menjadi 0,2 atm dan diturunkan suhunya menjadi 30 °C pada cooler (E-313) sebelum masuk ke tahap distilasi. Sebelum memasuki distilasi fase gas produk reaktor seperti H₂ (untuk recycle) dan formaldehid akan dipisahkan

melalui gas boot (H-320). Selanjutnya formaldehid dikondensasi menggunakan kondensor (E-321) agar dapat disimpan (F-420) dan dijual. Tahap pemurnian MEG menggunakan kolom distilasi (D-410) untuk memisahkan MEG dari produk sampingan seperti air, dan gliserol menggunakan bantuan panas dari reboiler (E-415) dengan suhu Tbubble bagian bottom 168 °C, pada kolom destilasi distilat MEG akan diubah menjadi fase cair pada kondensor (E-411) pada T_{dew} 102 °C. Menggunakan pompa kompresor (G-413) fase liquid MEG dialirkan menuju cooler (E-432) untuk didinginkan hingga suhu 30 °C. Penyimpanan MEG Setelah proses pemurnian selesai, MEG murni yang sudah pada fase liquid yang dihasilkan disimpan dalam MEG Storage Tank (F-430) (Shakeel et al. 2022). Jumlah Steam yang dibutuhkan untuk proses produksi sebesar 756,714kg/jam. Sedangkan total kebutuhan air sebesar 57812 kg/jam. Untuk kebutuhan listrik sebesar 974 kWh dan kebutuhan bahan bakar berupa solar adalah sebesar 62,98 lb/jam.



PROSES FLOW DIAGRAM
PRA PERANCANGAN PABRIK PEMBUATAN MONOETILEN GLIKOL SEBAGAI CAMPURAN
LARUTAN ANTI-FREEZE DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) MENGGUNAKAN
PROSES KATALIK HIDROGENASI
KAPASITAS PRODUKSI 50000 TON/TAHUN



Komponen	Input (Kg/jam)					Output (Kg/jam)				
	Stream 1	Stream 3	Stream 9	Stream 23	Stream 8	Stream 15	Stream 16	Stream 19	Stream 21	Stream 22
C6H10O5	4166,66667	0	0	0	0	0	281,3718	0	0	0
C5H8O4	883,838384	0	0	0	0	0	883,8383838	0	0	0
C9H10O3	694,444444	0	0	0	0	0	0	0	0	694,4444444
Impurities	568,182	0	0	0	0	0	0	0	0	568,182
NaOH	0	12,62626263	0	0	0	0	0	0	0	12,62626263
H2O	0	113,6363636	0	0	555,5470581	0	0	114,350714	6,0178156	0
H2	0	0	87,34259404	171,9166652	0	171,9166652	0	0	0	0
Ni-W	0	0	0	0	31,56565657	0	0	0	0,2	0
C2H6O2	0	0	0	0	0	0	0	2682,65553	6,9418062	0
C3H8O3	0	0	0	0	0	0	0	8,63181394	422,94555	0
CH2O	0	0	0	0	0	1301,084048	0	0	0	0
C6H12O6	0	0	0	0	0	0	130,5587764	0	0	0
Total			7285,7659					7285,7659		

	JURUSAN TEKNIK KIMIA PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS JEMBER	
	PROJEK PERANCANGAN PRA PERANCANGAN PABRIK PEMBUATAN MONOETILEN GLIKOL SEBAGAI CAMPURAN LARUTAN ANTI-FREEZE DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) MENGGUNAKAN PROSES KATALIK HIDROGENASI KAPASITAS PRODUKSI 50.000 TON/TAHUN	
Disusun oleh : Carry Yudianto, Dikoreksi oleh: Edyana Purnamasari, Mulya Wicakusuma		191010401020 191010401020
Dosen Pembimbing : Ir. Zuhriah Murtazah, S.Si., M.Si.		
Airflow Masuk	Airflow Keluar	
Steam	Airflow Pendingin	
Water Treatment	Airflow Steam	
Cold Water	Steam	
No.	Nama Alat	Kode
1	Tangki bin TKKS	F-110
2	Belt Conveyor	J-111
3	Hammer Mill	L-112
4	Tangki Penyimpanan Hidrogen	F-120
5	Pompa Sentrifugal 1	L-121
6	Tangki Natrium Hidroksida	F-130
7	Belt conveyor	J-131
8	Tangki Mixer	M-220
9	Pompa Sentrifugal 2	L-221
10	Heater 1	E-222
11	Tangki Mixer 2	M-230
12	Pompa sentrifugal 3	L-231
13	Dekanter	H-240
14	Pompa Sentrifugal 4	L-241
15	Centrifugal compressor	G-242
16	Heater 2	E-243
17	Centrifugal compressor	G-122
18	Heater 3	E-123
19	Reaktor Hidrogenasi	R-310
20	Pompa sentrifugal 5	L-311
21	Ekspander	G-312
22	Cooler 1	E-313
23	Gas Boot	H-320
24	Kondensor 1	E-321
25	Pompa Sentrifugal 6	L-322
26	Dekanter 2	H-330
27	Pompa sentrifugal 7	L-331
28	Menara Distilasi	D-410
29	Kondensor 2	E-411
30	Reboiler	E-412
31	Sentrifugal compressor 3	G-413
32	Cooler 2	E-414
33	Tangki Produk MEG	F-420
34	Pompa Sentrifugal 9	L-244
35	Pompa Sentrifugal 10	L-323
36	Tangki Produk Formaldehid	F-430
37	Pompa Sentrifugal 11	L-415
38	Tangki Produk Glicerol	F-440

Gambar 1. Process Flow Diagram Monoetilen Glikol

3. Analisis Ekonomi

Evaluasi ekonomi pada prancangan pabrik merupakan aspek penting untuk mempertimbangkan kelayakan dan keuntungan dari pendirian suatu pabrik. Dalam hal ini, ada beberapa aspek yang harus dipertimbangkan terkait kelayakan suatu pabrik yaitu:

- Keuntungan
- Lama waktu pengembalian (Pay Out Time)
- Total modal akhir (Total Capital Investment)
- Laju pengembalian modal (Rate of Return)
- Titik impas (Break Event Point/BEP)

Hasil evaluasi kelayakan ekonomi pabrik butil asetat dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 1. Rangkuman Evaluasi Ekonomi Pabrik

No	Nama Parameter	Nilai	Kesimpulan
1.	<i>Annual Cash Flow</i> (ACF)	13%	ACF > 8,77%, pabrik layak
2.	<i>Pay Out Time</i> (POT)	2,1 tahun	POT < 5 tahun, pabrik layak didirikan

Evaluasi ekonomi diperoleh :

- Annual cash flow (ACF) : Rp 5.786.972.060 (13%)
- Pay out time (POT) : 2,1 tahun
- Rate of return (ROR) : 48,05%
- Break event point (BEP) : 24,20%

Berdasarkan evaluasi ekonomi dapat disimpulkan bahwa pabrik monoetilen glikol dari TKKS dengan kapasitas produksi 50.000 ton/tahun ini layak didirikan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dan perhitungan yang terdapat pada bab sebelumnya, dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut :

- Pemanfaatan limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai bahan baku Monoetilen Glikol (MEG) melalui proses hidrogenasi katalitik merupakan solusi berkelanjutan untuk mengurangi ketergantungan impor MEG dan dampak lingkungan limbah sawit di Indonesia, yang sejalan dengan perkembangan historis produksi MEG sejak abad ke-19

- Pabrik MEG berkapasitas 50.000 ton/tahun dirancang dengan proses hidrogenasi katalitik berbasis TKKS di Kotawaringin Barat, Kalimantan Tengah, meliputi empat tahap utama (persiapan bahan baku, pre-treatment, reaksi hidrogenasi, dan pemurnian), dengan pemilihan lokasi berdasarkan ketersediaan bahan baku, transportasi, dan utilitas.
- Pabrik direncanakan beroperasi secara kontinyu selama 330 hari/tahun dan 24 jam/hari;
- Bahan baku berupa TKKS didapat dari dalam negeri, sedangkan katalis yang digunakan berasal dari china.
- Bentuk badan usaha yang diterapkan pada pabrik ini adalah perseroan terbatas dengan jumlah karyawan 153 orang.

Daftar Pustaka

- Barlianti, Vera, Deliana Dahnum, Hendris Hendarsyah, and Haznan Abimanyu. 2015. "Effect of Alkaline Pretreatment on Properties of Lignocellulosic Oil Palm Waste." *Procedia Chemistry* 16:195–201. doi:10.1016/j.proche.2015.12.036.
- Brownell, L.E. and Young, E.H. (1959). *Process Equipment Design*. John Willey and Sons Inc., New York.9
- Geankoplis, C.J., (1997). *Transport Processes and Unit Operation*, 4th ed, Prentice Hall Inc., New York.
- Kern, D.Q., (1965). *Process Heat Transfer*, Mc.Graw Hill Book Company Inc., New York.
- Kusnarjo. (2010). *Desain Bejana Bertekanan*. ITS Press.
- Law, Poh Gaik, Noor Haida Sebran, Ashraf Zin Zawawi, and Azlan Shah Hussain. 2020. "Optimization Study of Biomass Hydrogenation to Ethylene Glycol Using Response Surface Methodology." *Processes* 8(5). doi:10.3390/PR8050588.
- Louw, Janus, Somayeh Farzad, and Johann F. Görgens. 2023. "Polyethylene Furanoate: Technoeconomic Analysis of Biobased Production." *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 17(1):135–52. doi:10.1002/bbb.2430.
- McCabe, W.L., dkk., (1986). *Unit Operation of Chemical Engineering*, 5th Ed., Mc.Graw Hill Book Company Inc., Singapore.
- Norhanifah, A. H., A. R. Norliza, and J. Rafidah. 2022. "Production of Monoethylene Glycol





- from Lignocellulosic Biomass via Catalytic Hydrogenation: A Review.” IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1257(1):012015. doi:10.1088/1757-899x/1257/1/012015.
- Perry, R. H., Green, D. W. dan Maloney, J. O. (1997). Perry's Chemical Engineers' Handbook. 7ed. McGraw-Hill. New York
- Peters, M. S. dan Timmerhaus, K. D. (1991). Plant Design and Economics For Chemical Engineers. 4. McGraw-Hill. New York
- Shakeel, Usama, Xinlong Li, Biao Wang, Fanhui Geng, Quan Zhang, Kai Zhang, Xia Xu, and Jian Xu. 2022. “Structure and Integrity of Sequentially Extracted Lignin during Poplar (Alkaline) Pretreatment.” Process Biochemistry 117:198–208. doi:10.1016/j.procbio.2022.03.026.
- Smith, J.M., and Van Ness, H.C. (2005). Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 7 rd. Ed. Mc. Graw Hill, New York.
- Ulrich, G.D. (1984). A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics, John Willey and Sons, New York.
- Walas, S.M. (1990). Chemical Process Equipment (Selection and Design), Buterworth Heineman, USA.
- Yaws, Carl. L., (1999). Chemical Properties Handbook, Mc Graw Hill, New York.

