

PRARANCANGAN PABRIK POLYURETHANE FOAM DARI BIJI NYAMPLUNG MENGGUNAKAN METODE EKOPSIDASI DAN POLIMERISASI DENGAN KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN

Zulfaa Fuad Syani¹, Achmad Rendyka Dwy Putra Setiawan^{1,*}, Rizki Yudha Satria¹
Ratri Sekaringgalih¹, Yukti Nurani¹, Bektu Palupi¹

¹Program Studi S-1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember Jl. Kalimantan No. 37,
Jember Jawa Timur, 68121

*E-mail: rendykaputra2015@gmail.com

Abstrak

*Pra-rancangan pabrik polyurethane foam berbahan baku minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) dengan kapasitas 20.000 ton/tahun bertujuan menghasilkan polioliol bio-based sebagai alternatif ramah lingkungan pengganti polioliol berbasis petrokimia. Pabrik direncanakan berlokasi di Banyuwangi, Jawa Timur dengan waktu operasi 330 hari/tahun. Proses produksi meliputi pre-treatment, hidrolisis trigliserida menjadi asam lemak bebas (FFA), epoksidasi dan ring opening untuk sintesis polioliol, pemurnian polioliol, serta polimerisasi dengan toluene diisosiyanat (TDI) menghasilkan polyurethane foam. Metode epoksidasi dan ring opening dipilih karena memiliki yield tinggi (>90%) dan telah berkembang secara komersial. Berdasarkan evaluasi ekonomi, pabrik ini layak didirikan dengan nilai Internal Rate of Return (IRR) 13%, Pay Out Time (POT) 4,97 tahun, dan Break Even Point (BEP) 54% kapasitas produksi. Pabrik ini berpotensi mendukung pengembangan industri kimia berbasis biomassa dan mengurangi ketergantungan bahan baku petrokimia.*

Kata kunci : polyurethane foam, minyak biji nyamplung, polioliol bio-based, epoksidasi, ring opening

1. Pendahuluan

Saat Kebutuhan material polimer terus meningkat di sektor konstruksi, otomotif, manufaktur, kelistrikan, dan pendingin, dengan polyurethane foam banyak digunakan karena ringan, kuat, stabil, dan memiliki konduktivitas panas rendah sebagai isolasi termal (Abdullah et al., 2023; Sarkar et al., 2022)). Namun, produksi PU masih bergantung pada polioliol berbasis minyak bumi yang tidak berkelanjutan (Suhendra et al., 2013). Alternatif yang lebih ramah lingkungan adalah polioliol berbasis minyak nabati melalui epoksidasi dan hidrosilasi trigliserida (Ganesh et al., 2021; Rahmiati et al., 2024). Minyak nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) sebagai non-edible oil dengan rendemen 66–74% berpotensi menghasilkan polyurethane dengan konversi hingga 83,73% dan stabilitas termal yang baik (Hamdalah et al., 2024; Suhendra et al., 2013a). Didukung ketersediaan biomassa dan kebijakan nasional seperti Permenperin No. 13 Tahun 2019 dan RUEN (Perpres No. 22 Tahun 2017), pengembangan bio-polioliol berbasis nyamplung berpotensi mengurangi impor dan meningkatkan nilai tambah biomassa lokal.

Kapasitas produksi pabrik dapat ditentukan dengan menganalisis ekspor, impor, produksi, dan konsumsi pasar dari tahun ke tahun. Data untuk penentuan kapasitas produksi polyurethane foam dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Data Polyurethane Foam di Indonesia (Badan Pusat Statistik, 2021)

Tahun	Produksi (ton)	Konsum si (ton)	Impor (ton)	Ekspor (ton)
2014	1.396.000	580.769	32.479	17.975
2015	1.396.000	630.221	34.815	4.8
2016	1.396.000	656.778	39.904	4.504
2017	1.396.000	713.567	39.521	1.000
2018	1.396.000	746.530	45.623	72
2019	1.396.000	776.722	48.362	144,2

Penentuan kapasitas pabrik Polyurethane Foam ditinjau dari produksi PU foam dan perkiraan impor, ekspor, serta konsumsi di tahun 2030 berturut-turut 1.396.000 ton, 118.143,6 ton, 53.683,22 ton, dan 1.475.651,92 ton. Dari hasil tersebut dapat dihitung kapasitas pabrik pada tahun 2030 menggunakan Persamaan 2.1.

$$M_3 = (M_4 + M_5) - (M_1 + M_2)$$

Keterangan:

M₁ : perkiraan impor tahun 2030

M₂ : kapasitas lama (produksi)

M₃ : kapasitas pabrik baru

M₄ : perkiraan ekspor tahun 2030

M₅ : perkiraan konsumsi tahun 2030

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan data



kapasitas pabrik adalah sebesar 15.190,51 ton/tahun dan ekspansi sebesar 30% (Radatz et al., 2019), sehingga kapasitas pabrik polyurethane foam sebesar 20.000 ton/tahun.

2. Uraian Proses

1. Unit persiapan bahan baku (A-100)

Proses ini diawali dengan pengangkutan biji nyamplung yang telah dikupas dan dikeringkan menuju ball mills (C-110) untuk dihancurkan menjadi ukuran lebih kecil. Biji nyamplung kemudian akan diangkut ke dalam alat screw press (C-120) untuk diekstrak minyak dari biji nyamplung, kemudian fasa minyak akan dipisahkan dengan alat centrifuge (H-121) untuk dipisahkan minyak dari sisa padatan yang ikut terlarut. Minyak yang diekstrak kemudian akan dialirkan menuju tangki degumming (M-130) pada suhu 60 C dengan campuran asam fosfat untuk memisahkan padatan yang masih terlarut. Campuran minyak kemudian akan dipisahkan dengan centrifuge (H-132) untuk dipisahkan dari sisa kotoran dan padatan yang terisisa, minyak yang sudah dipisahkan kemudian akan dipanaskan dengan alat heater (E-136) hingga suhunya menjadi 100 C. Minyak yang dipanaskan kemudian akan dialirkan ke reaktor hidrolisis (R-140) pada kondisi operasi suhu 100 C dengan asam klorida 38% (HCl) sebagai katalis asam dan air berlebih, reaksi yang terjadi disini adalah minyak nyamplung yang strukturnya nya berupa trigliserida akan dipecah menjadi asam lemak bebas (FFA) dan gliserol (C₃H₈O₃). Campuran larutan kemudian akan dialirkan menuju (H-143) untuk dilakukan pemisahan antara dua fasa, yaitu fasa air dan fasa minyak (Suhendra et al., 2013).

2. Unit Reaksi (A-200)

Proses ini diawali dengan FFA dialirkan menuju tangka premix (M-214) untuk dilarutkan dengan senyawa asam format 90% (CH₂O₂) dan hidrogen peroksida 30% (H₂O₂) sekaligus didinginkan melalui jaket pendingin hingga suhu mencapai 40 C. Campuran larutan kemudian akan dimasukkan ke dalam reactor epoksidasi (R-210) pada kondisi operasi suhu 40 C bersama dengan senyawa asam sulfat pekat (H₂SO₄) yang bersifat sebagai katalis asam. Reaksi diawali dengan pembentukan asam peracid dari asam format dan hidrogen peroksida, asam peracid yang terbentuk direaksikan dengan FFA untuk membentuk cincin epoksida yang dilanjutkan dengan reaksi pembukaan cincin membentuk polioliol. Campuran polioliol dan sisa reaktan kemudian akan dialirkan ke centrifuge (H-216) untuk dipisahkan kedua fasa. Polioliol yang sudah dipisahkan kemudian akan dialirkan ke tangka pencucian (M-220) bersama dengan senyawa natrium hidroksida 20% (NaOH), magnesium sulfat (MgSO₄), serta air untuk menetralkan fasa organik dari asam, dan menyerap sisa

sisa reaktan yang ikut terlarut. Polioliol yang sudah dinetralkan kemudian akan dialirkan menuju centrifuge (H-225) untuk dipisahkan fasa polioliol dengan sisa reaktan, polioliol yang sudah dipisahkan kemudian akan dialirkan menuju alat evaporator (V-227) pada suhu 100 C untuk menguapkan seluruh sisa air yang tersisa. Polioliol yang telah dimurnikan akan dialirkan menuju reaktor polimerisasi (R-230) pada suhu 100 C yang akan bereaksi dengan senyawa TDI hingga membentuk PU. Reaksi yang terjadi pada alat ini adalah gugus hidroksil dari polioliol akan bereaksi dengan gugus isosianat dari senyawa TDI hingga membentuk gugus uretan pada setiap molekulnya. PU yang telah bereaksi kemudian akan dialirkan ke tangka cetak (F-233) yang dimana PU akan memadat dan membentuk busa

3. Unit pengemasan (A-300)

PU foam yang telah memadat akan dialirkan ke alat press filter (H-311) yang dimana PU foam akan dipisahkan dengan seluruh fasa liquid sisa reaktan dengan tekanan tinggi. PU foam yang sudah dipisahkan kemudian akan diangkut menuju alat cooling tunnel (E-312) yang dimana PU akan didinginkan hingga mencapai suhu 70 C, PU foam yang telah didinginkan kemudian akan diangkut menuju foam cutter (C-313) yang bertujuan untuk memotong PU menjadi lembaran dengan dimensi setiap lembaran 2x1x0,05 meter. PU foam yang sudah dipotong menjadi lembaran kemudian akan disimpan ke dalam gudang penyimpanan

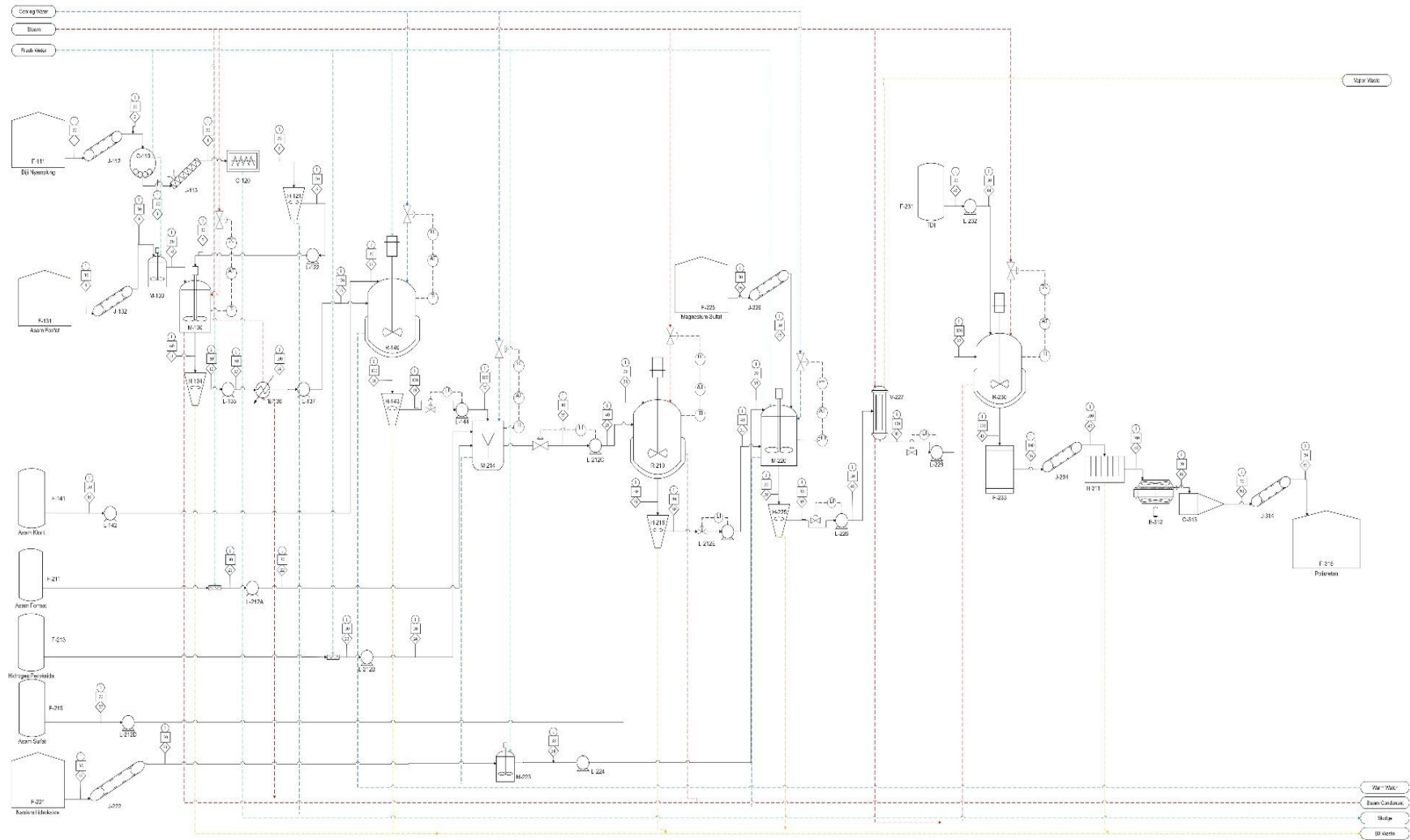
3. Utilitas

Utilitas berperan penting dalam membantu kelancaran proses produksi. Unit utilitas terdiri dari beberapa unit yaitu:

1. Unit pengadaan steam
2. Unit pengadaan air
3. Unit pengadaan listrik
4. Unit bahan bakar

Jumlah Steam yang dibutuhkan untuk proses produksi sebesar 21.489,64 kg/ hari. Sedangkan total kebutuhan air sebesar 21.065,15kg/hari. Untuk total kebutuhan pendingin sebesar 179.670,03 kg/hari. Untuk kebutuhan listrik sebesar 2.224,93 kWh dan kebutuhan bahan bakar berupa solar adalah sebesar 1.346,06 L/hari.





Gambar 1. *Process Flow Diagram* Pabrik Polyurethane Foam

4. Evaluasi 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:

- 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 2.

Tabel 2 Rangkuman Evaluasi Ekonomi Pabrik

No	Nama Parameter	Nilai	Kesimpulan
1.	Pay Out Time (POT)	4,97 tahun	POT < 5 tahun, pabrik layak didirikan
2.	Total Capital Sink (TCS)	Rp 4,17 Triliyun	TCS > TCI, pabrik layak didirikan
3.	Rate of Return	13 %	ROR > 6,25%, pabrik layak didirikan
4.	Break Event Point	54%	BEP range 40% - 60%, pabrik layak didirikan

5. Kesimpulan

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

- Pabrik *polyurethane foam* menggunakan metode epoksidasi dan polimerisasi direncanakan akan dibangun di Desa Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi dengan total luas lahan seluas 30 hektar;
- Pabrik *polyurethane foam* yang dirancang memiliki kapasitas produksi sebesar 20.000 ton/tahun;
- Pabrik direncanakan beroperasi secara kontinyu selama 330 hari/tahun dan 24 jam/hari;
- Bahan baku biji nyamplung didapat dari banyuwangi, bahan pendukung didapat dari dalam negeri, sedangkan katalis yang digunakan berasal dari dalam negeri.
- Bentuk badan usaha yang diterapkan pada pabrik ini adalah perseroan terbatas dengan jumlah karyawan 213 orang;
- Evaluasi ekonomi diperoleh :
 - Pay out time (POT) : 4,97 tahun
 - Total capital sink (TCS): Rp 4,17 triliyun
 - Rate of return (ROR) : 13%

- Break event point (BEP) : 54%

7. Berdasarkan evaluasi ekonomi dapat disimpulkan bahwa pabrik polyurethane foam dari biji minyak nyamplung dengan kapasitas produksi 20.000 ton/tahun ini layak didirikan.

Daftar Pustaka

- Abdullah, M., Ramtani, S., & Yagoubi, N. (2023). Mechanical Properties Of Polyurethane Foam For Potential Application In The Prevention And Treatment Of Pressure Ulcers. *Results In Engineering*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101237>
- Aguirre-Villegas, H. A., Larson, R. A., & Sharara, M. A. (2019). Anaerobic Digestion, Solid-Liquid Separation, And Drying Of Dairy Manure: Measuring Constituents And Modeling Emission. *Science Of The Total Environment*, 696. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134059>
- Brownell, L. E., & Young, E. H. (1959). *Process Equipment Design*.
- Ganesh, K. N., Zhang, D., Miller, S. J., Rossen, K., Chirik, P. J., Kozlowski, M. C., Zimmerman, J. B., Brooks, B. W., Savage, P. E., Allen, D. T., & Voutchkova-Kostal, A. M. (2021). Green Chemistry: A Framework For A Sustainable Future. *Acs Omega*, 6, 16254–16258. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c03011>
- Geonkopolis. (1993). *Transport Processes And Separation Process Principles*.
- Gunawan, S., Apamarta, W., Taufany, F., Prayogo, A., Hajar, S., Putri, A., & Wijaya, C. J. (2020). Separation And Purification Of Triglyceride From Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) Seed Oil As Biodiesel Feedstock By Using Continuous Countercurrent Extraction. In / *Malaysian Journal Of Fundamental And Applied Sciences* (Vol. 16, Number 1).
- Hamdalah, B. N. K., Suhendra, D., & Gunawan, E. R. (2024). Epoksidasi Asam Lemak Minyak Biji Nyamplung Secara Kemoenzimatis Chemoenzymatic Epoxidation Of Fatty Acids In Nyamplung Seed Oil.
- Kaikade, D. S., & Sabnis, A. S. (2023). Polyurethane Foams From Vegetable Oil-Based Polyols: A Review. *Polymer Bulletin*, 80(3), 2239–2261. <https://doi.org/10.1007/S00289-022-04155-9>
- Kern's. (2019). *Process Heat Transfer Second Edition*.
- Milchert, E., Smagowicz, A., & Lewandowski, G. (2010). Optimization Of The Epoxidation Of Rapeseed Oil With Peracetic Acid. *Organic Process Research And Development*, 14(5), 1094–1101. <https://doi.org/10.1021/Op900240p>
- Nofiyanti, E., & Wardani, G. A. (2018). Proses Konversi Minyak Goreng Bekas Menjadi Polioli Sebagai Bahan Baku Busa Poliuretana. *Kovalen*, 4(2), 221–227.
- Perry's. (1997). *Perry's Chemical Engineers'*



- Handbook* (9th Ed.).
- Radatz, H., Kühne, K., Bramsiepe, C., & Schembecker, G. (2019). Comparison Of Capacity Expansion Strategies For Chemical Production Plants. *Chemical Engineering Research And Design*, 143, 56–78. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.12.018>
- Rahmiati, Suhendra, D., & Gunawan, E. R. (2024). Sintesis Senyawa Poliolester Minyak Ketapang (*Terminalia Catappa* L.) Sebagai Bahan Dasar Pelumas Sintetik. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(12), 568–573. <https://ejournal.lambungpare.org/index.php/Jim/Index>
- Rasyid, R., Malik, R., Kusuma, H. S., Roesyadi, A., & Mahfud, M. (2018). Triglycerides Hydrocracking Reaction Of Nyamplung Oil With Non-Sulfided $\text{Co}/\text{Ti}-\text{Al}_2\text{O}_3$ Catalysts. *Bulletin Of Chemical Reaction Engineering And Catalysis*, 13, 196–203. <https://doi.org/10.9767/brec.13.2.734.196-203>
- Sarkar, S., Mestry, S., & Mhaske, S. T. (2022). Developments In Phase Change Material (Pcm) Doped Energy Efficient Polyurethane (Pu) Foam For Perishable Food Cold-Storage Applications: A Review. *Journal Of Energy Storage*, 50. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104620>
- Setyawardhani, D. A., Rakhmawati, R., Kaavessina, M., & Danarto, Y. C. (2022). Diversifikasi Pemanfaatan Minyak Biji Nyamplung Sebagai Upaya Meningkatkan Nilai Tambah Produksi Di Cv Plantanesia. *Semar (Jurnal Ilmu Pengetahuan, Teknologi, Dan Seni Bagi Masyarakat)*, 11(1), 76–84. <https://doi.org/10.20961/Semar.V11i1.55835>
- Sinaga, N. A. (2018). Hal-Hal Pokok Pendirian Perseroan Terbatas Di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Hukum Dirgantara*, 8(2).
- Suhendra, D., Solehah, A., Asnawati, D., & Gunawan, E. R. (2013a). Sintesis Poliuretan Dari Asam Lemak Teroksidasi Minyak Inti Buah Nyamplung Melalui Proses Polimerisasi Menggunakan Toluen Diisosiyanat. *Chem. Prog*, 6(2).
- Suhendra, D., Solehah, A., Asnawati, D., & Gunawan, E. R. (2013b). Sintesis Poliuretan Dari Asam Lemak Teroksidasi Minyak Inti Buah Nyamplung Melalui Proses Polimerisasi Menggunakan Toluen Diisosiyanat. *Chem. Prog*, 6(2), 62–69.
- Szycher, M. (2013). *Handbook Of Polyurethanes Second Edition* (Second). Crc Press.
- Ulrich, G. D. (1984). *A Guide To Chemical Engineering Process Design And Economics*. John Wiley & Sons.
- Vilbrandt, F. C., & Dryden, C. E. (1959). *Chemical Engineering Plant Design* (4th Ed.).
- Ye, Y., & Zhu, Q. (2017). *The Development Of Polyurethane*.

