

PRARANCANGAN PABRIK ASAM ASETAT DARI METANOL DAN KARBON MONOKSIDA MENGGUNAKAN METODE KARBONILASI METANOL (*CATIVA PROCESS*) DENGAN KAPASITAS 25.000 TON/TAHUN

Maharani Tri Wardhani^{1*}, Kiki Septianti¹, Meliana Safitri¹
Meta Fitri Rizkiana¹, Bekti Palupi¹

¹Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember,
Jl. Kalimantan No. 37, Jember

* Corresponding Author: maharaneetriwardhani@gmail.com

Abstrak

Sektor industri berperan sebagai faktor penggerak dalam perekonomian nasional. Salah satunya yaitu industri kimia dasar (petrokimia) seperti industri asam asetat yang perlu dikembangkan, hal ini dikarenakan asam asetat sebagai bahan dasar dalam industri kimia memiliki pasar yang luas. Asam asetat banyak diaplikasikan dalam industri cat, karet, plastik, farmasi, industri Purified Terephthalic Acid (PTA), dan lain sebagainya. Produksi asam asetat menggunakan karbonilasi metanol (*cativa process*) dilakukan melalui beberapa tahapan proses, yaitu persiapan bahan baku, proses reaksi antara metanol dan karbon monoksida, proses pemisahan dan pemurnian sehingga menghasilkan produk asam asetat. Pabrik ini dirancang akan dibangun pada tahun 2027 yang berlokasi di Kawasan PIER (Pasuruan Industrial Real Estate Rembang), Kecamatan Rembang, Kabupaten Pasuruan, Provinsi Jawa Timur. Pabrik ini memiliki kapasitas produksi 25.000 ton/tahun, beroperasi selama 330 hari/tahun. Dalam operasinya, pabrik ini membutuhkan bahan baku berupa metanol sebanyak 17.305 ton/tahun dan karbon monoksida sebesar 13.844 ton/tahun. Pabrik ini beroperasi 24 jam per hari dan 330 hari per tahun. Pabrik ini memiliki pay out time (POT) selama 2,04 tahun, laju pengembalian modal (ROR) 44 %, dan titik impas (BEP) 49,9 %.

Kata Kunci : Asam Asetat, *Cativa Process*, Karbonilasi Metanol

1. Pendahuluan

Sektor industri berperan sebagai faktor penggerak dalam perekonomian nasional. Salah satunya yaitu industri kimia dasar (petrokimia) seperti industri asam asetat yang perlu dikembangkan, hal ini dikarenakan asam asetat sebagai bahan dasar dalam industri kimia memiliki pasar yang luas. Asam asetat banyak diaplikasikan dalam industri cat, karet, plastik, farmasi, industri Purified Terephthalic Acid (PTA), dan lain sebagainya (Fitri & Isnaeni, 2022). Asam asetat merupakan senyawa organik cair yang bersifat asam dan tidak berwarna, memiliki nama lain *acetic acid* atau *acidum aceticum* dan secara sistematis dikenal sebagai asam etanoa. Pada umumnya di kalangan masyarakat asam asetat biasa disebut dengan cuka atau asam cuka, hal ini dikarenakan cuka mengandung setidaknya 4–6% asam asetat

berdasarkan volumenya. Cuka yang berupa larutan asam asetat encer dapat langsung digunakan sebagai penyedap makanan dan juga sebagai pengawet makanan (Webber III dkk., 2018).

Asam asetat dapat diproduksi secara sintetis maupun biologis. Produksi sintetis bergantung terutama pada stok turunan minyak bumi seperti metanol, asetaldehida, butana, serta etilena. Apabila dibandingkan dengan proses biologis, keunggulan dari proses sintetis adalah *yield* yang dihasilkan oleh proses sintesis adalah rata-rata lebih dari 90% sedangkan *yield* hasil fermentasi bakteri berkisar 30% hingga 40% (Kirk & Othmer, 1954). Saat ini proses biologis hanya menyumbang sekitar 10% dari produksi dunia. Hal tersebut tetap penting terhadap produksi cuka, karena cuka yang digunakan untuk kebutuhan pangan harus berasal



dari proses biologis (Morales dkk., 2020; Vidra & Németh, 2018).

Monomer vinil asetat menempati penggunaan terbesar untuk asam asetat. Monomer digunakan dalam pembuatan polimer untuk perekat dan pelapis. Penggunaan terbesar kedua yaitu digunakan dalam produksi asam tereftalat. Asam ini digunakan untuk memproduksi resin, serat, dan film kemasan padat poli (etilen tereftalat). Volume global yang serupa digunakan untuk membuat ester asetat sebagai pelarut dalam tinta, cat, dan pelapis. Asam asetat untuk produksi anhidrida asetat menyumbang jumlah yang lebih kecil dalam total permintaan (Pal & Nayak, 2017; Wagner, 2014).

Di Indonesia, industri asam asetat merupakan industri kimia yang berpotensi besar dalam perkembangannya dikarenakan penggunaan asam asetat yang tidak hanya diaplikasikan oleh industri besar. Asam asetat juga dapat digunakan menjadi bahan baku utama maupun bahan baku tambahan (Fitri & Isnaeni, 2022). Hal tersebut yang membuat Industri asam asetat memiliki prospek yang menjanjikan dan sangat strategis didirikan di Indonesia.

Pembentukan asam asetat dari proses asetaldehida melalui hidrasi asetilena menggunakan katalis asam sulfat dan merkuri sulfat diperkenalkan pada tahun 1916 di Jerman dan digunakan di China. Namun, toksisitas dari katalis merkuri mengakibatkan pencemaran lingkungan yang signifikan, sehingga proses ini telah dihapuskan. Seiring berkembangnya industri petrokimia pada tahun 1950-an, proses asetaldehida pun beralih ke proses oksidasi etilena (Cheung dkk., 2011). Pada tahun 1960-an, produksi asam asetat didasarkan pada oksidasi n-butana atau nafta. Produsen utama asam asetat melalui oksidasi langsung hidrokarbon adalah Celanese (menggunakan n-butana) dan BP (menggunakan nafta). Namun, reaksi ini juga menghasilkan produk sampingan oksidasi dalam jumlah yang signifikan, serta proses pemisahan yang sangat kompleks dan mahal. Perkembangan proses karbonilasi metanol menjadi asam asetat yang menggunakan katalis Ni pertama kali dikomersialkan oleh BASF (*Badische Anilin and Soda Fabric*) pada tahun 1955. Proses yang ditingkatkan oleh BASF pada tahun 1960 merupakan proses yang menggunakan katalis CO

yang didukung dengan iodida. Proses berbasis iridium (Ir) ditingkatkan dan dikomersialkan oleh BP Chemicals pada tahun 1996. Pada tahun 1970, Monsanto mengomersialkan proses karbonilasi metanol yang lebih baik menggunakan katalis rhodium (Rh) yang didukung metil iodida (Yoneda dkk., 2001). Proses berbasis Ir yang merupakan Proses Cativa pertama kali diumumkan oleh BP Chemicals pada tahun 1996. Proses ini juga dikenal sebagai proses yang lebih ramah lingkungan dan lebih efisien jika dibandingkan proses Monsanto (Shareie dkk., 2021). Beberapa industri yang telah mengaplikasikan proses cativa dapat dilihat pada Tabel 1.1. PT. Indo Acidatama Tbk merupakan pabrik asam asetat pertama dan satu-satunya di Indonesia, yang mulai memproduksi asam asetat pada tahun 1988 dengan kapasitas 16.500 ton/tahun.

Tabel 1 Pabrik Asam Asetat menggunakan Proses Cativa dengan Katalis Iridium (Jones, 2000)

Pabrik	Lokasi	Tahun	Kapasitas (tpa)
Sterling Chemicals	Texas City, USA.	1995	360.000
Samsung-BP	Ulsan, South Korea	1997	650.000
BP Chemicals	Hull, U.K.	1998	2.500.000
BP Petronas	Kertih, Malaysia	2000	500.000

2. Deskripsi Proses

2.1 Tinjauan Proses

Terdapat beberapa proses dalam pembuatan asam asetat. Berikut adalah perbandingan jenis proses produksi asam asetat yang tertera pada Tabel 2.

Proses karbonilasi metanol (*cativa process*) menggunakan katalis iridium dipilih dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. Yield reaksi yang tinggi (> 99%);
2. Bekerja pada tekanan yang rendah dan suhu yang lebih rendah dari proses Monsanto;



3. Menghasilkan konsentrasi produk samping yang paling rendah;
4. Bahan baku utama tersedia di dalam negeri sehingga harganya lebih murah;
5. Prosesnya tidak terlalu rumit;
6. Harga katalis iridium jauh lebih murah dibandingkan katalis rhodium (proses Monsanto);
7. Katalis Iridium (Ir) tidak tergantung pada katalis promotor (katalis iodida).

Tabel 2 Perbandingan proses

Proses	Katalis	Kondisi operasi	Raw material
Oksidasi hidrokarbon (n-butana)	Kobalt asetat atau mangan asetat	150-230 °C, 50-60 atm	n-butana 50%
Oksidasi asetaldehida	Kobalt asetat atau mangan asetat	50-60 °C, 1 atm	CH ₃ CHO 95%
Oksidasi etilena	Palladium, heteropolyaci d, metal	150-160 °C, 80 atm	Etilena 87%
Karbonilasi metanol	Rhodium kompleks	180-220 °C, 30-40 atm	MeOH 99% CO 85%
Karbonilasi metanol	Iridium	150-180 °C, 30-40 atm	MeOH 99% CO 85%

Proses produksi asam asetat dari metanol dan karbon monoksida menggunakan metode karbonilasi metanol (*cativa process*) terbagi menjadi 3 tahapan yaitu persiapan bahan baku, proses reaksi antara metanol dan karbon monoksida, proses pemisahan dan pemurnian sehingga menghasilkan produk asam asetat.

1. Persiapan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam proses produksi asam asetat menggunakan proses karbonilasi metanol (*cativa process*) adalah metanol (CH₃OH) dan karbon monoksida (CO). Adapun katalis yang digunakan pada proses ini adalah Iridium (Ir). Bahan baku berupa metanol (CH₃OH) disimpan pada fasa cair di tangki penyimpanan (F-111) pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm. Karbon monoksida (CO) disimpan pada fasa gas di tangki penyimpanan (F-115) pada kondisi suhu 30°C dan tekanan 4,5 atm.

Bahan baku metanol dari tangki penyimpanan (F-111) dipompa (L-112) untuk dipanaskan menggunakan *heater* (E-113) dan dinaikkan tekanannya menggunakan kompresor (G-114) sebelum diumpankan menuju reaktor (R-120). Gas karbon dioksida dari tangki penyimpanan (F-125) dinaikkan suhunya menggunakan *heater* (E-116) dan melalui kompresor (G-117) lalu diumpankan menuju reaktor (R-110). Hal tersebut dilakukan guna mencapai kondisi operasi yang diinginkan pada reaktor yaitu pada suhu 150°C dan tekanan 30 atm.

2. Proses Reaksi

Reaksi karbonilasi metanol terjadi pada reaktor (R-110) dengan kondisi operasi berupa suhu sebesar 150°C dan tekanan sebesar 30 atm (Haynes, 2010). Jenis reaktor yang digunakan dalam proses ini adalah *fixed bed reactor*. Reaksi utama mereaksikan metanol (CH₃OH) dan karbon monoksida (CO) untuk membentuk asam asetat (CH₃COOH). Selain itu, pada kondisi operasi tersebut terjadi pula reaksi samping antara metanol (CH₃OH) dan asam asetat (CH₃COOH) membentuk metil asetat (CH₃COOCH₃).

Keluaran atas reaktor berupa produk hasil reaksi pada fasa gas selanjutnya dialirkan menuju *flash drum* (V-210). Keluaran reaktor diturunkan tekanannya menjadi 0,036 atm menggunakan *expander*, lalu diturunkan suhunya menjadi 35°C menggunakan *cooler*. Hal tersebut bertujuan untuk menyesuaikan dengan kondisi operasi dari *flash drum*.

3. Proses Pemisahan dan Pemurnian

Produk keluaran reaktor dialirkan menuju *flash drum* (V-210), dimana kondisi operasi dari *flash drum* adalah 0,036 atm dan suhu 35°C. Keluaran atas berupa gas dialirkan menuju ke gas *holder* pada UPL. Sedangkan, keluaran bawah berupa *liquid* dari *flash drum* selanjutnya melalui proses pemurnian pada menara distilasi (D-220). Pada menara distilasi (D-220) dilakukan pemisahan kembali bahan baku metanol, air, maupun produk samping berupa metil asetat (CH₃COOCH₃) yang masih terbawa. Keluaran atas (distillat) dari menara distilasi berupa bahan baku metanol, air, metil asetat, dan sebagian kecil asam asetat yang terbawa untuk selanjutnya diturunkan suhunya terlebih dahulu menggunakan *cooler* (E-224) dan dipompa



(L-225) menuju ke UPL (suhu 35°C, tekanan 1 atm). Sedangkan keluaran bawah (*bottom produk*) dari *reboiler* berupa asam asetat dengan kemurnian >99% akan diturunkan suhunya terlebih dahulu menggunakan *cooler* (E-227) dan dipompa (L-228) menuju ke tangki penyimpanan produk asam asetat (F-229) pada suhu 35°C dan tekanan 1 atm.

2.2 Neraca Massa

Pabrik asam asetat dari metanol dan karbon monoksida menggunakan metode karbonilasi metanol (*cativa process*) dirancang dengan kapasitas produksi 3.156,57 kg/jam atau 25.000 ton/tahun menggunakan katalis iridium. Pabrik ini membutuhkan bahan baku berupa metanol sebanyak 2.185 kg/jam atau 17.305 ton/tahun dan karbon monoksida sebesar 1.748 kg/jam atau 13.844 ton/tahun. Pabrik ini beroperasi 24 jam per hari dan 330 hari per tahun. Total massa disajikan pada tabel 3.

Tabel 3 Neraca Massa Total

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)		
	<1>	<4>	<10>	<17>	<22>
CH ₃ OH	2.163,15		24,27		
H ₂ O	21,85		143,22	1,45	
CO		1713,04	34,26		
H ₂		34,96	34,96		
CH ₃ COOH			31,90	3.157,98	
CH ₃ COOCH ₃			505,03		
Total	3.933		3.933		

2.3 Neraca Energi

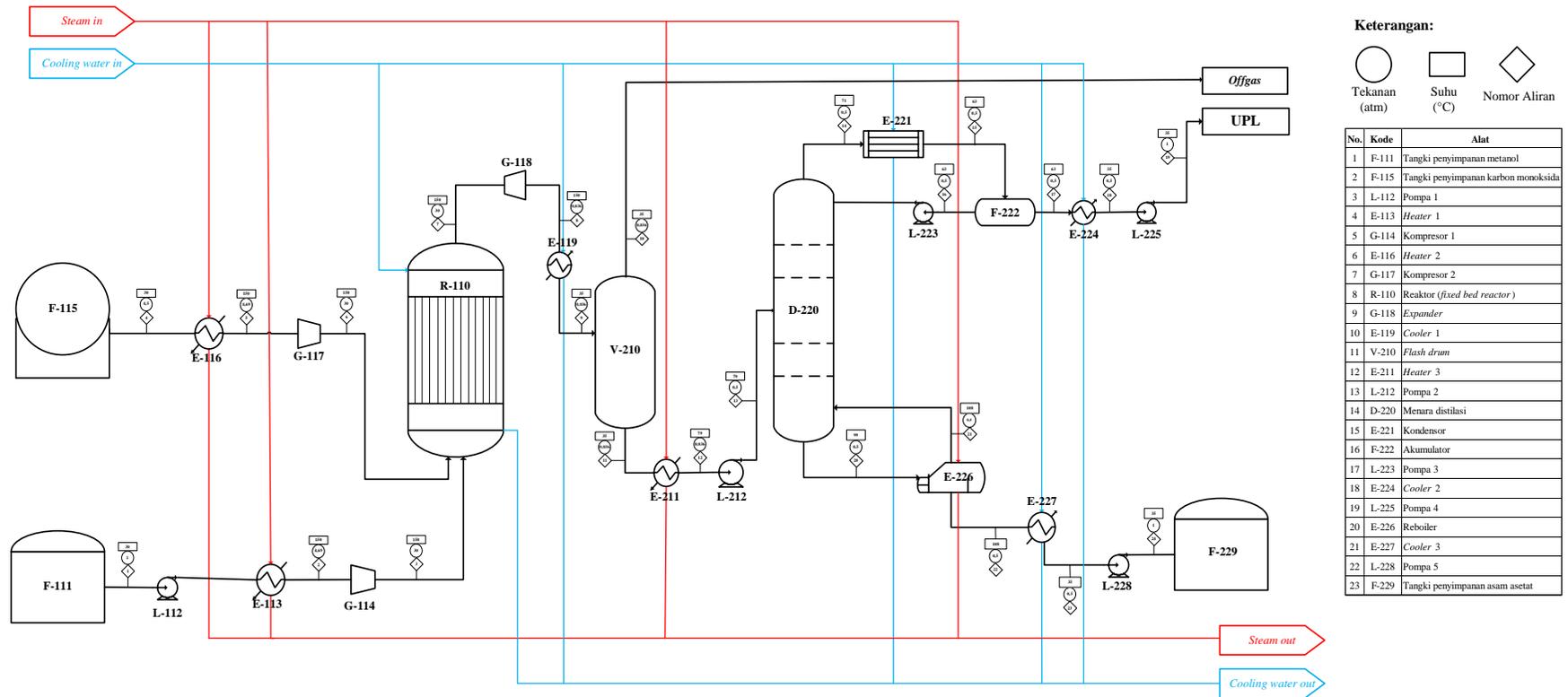
Pabrik asam asetat dari metanol dan karbon monoksida menggunakan metode karbonilasi metanol (*cativa process*) dengan kapasitas produksi 3.156,57 kg/jam atau 25.000 ton/tahun ini membutuhkan energi berupa *steam* sebesar 1.489,57 kg/jam atau 11.797,39 ton/tahun dan *cooling water* sebesar 215.840,86 kg/jam atau 1.709.459 ton/tahun. Terdapat total 14 alat yang membutuhkan dan menghasilkan panas seperti yang disajikan pada tabel 4.

Tabel 4 Neraca Energi Unit

No.	Nama alat	Q masuk (kj/jam)	Q keluar (kj/jam)
1.	Heater metanol	562.004,50	562.004,50
2.	Kompresor metanol	419.179,12	419.179,12
3.	Heater karbon monoksida	387.053,80	387.053,80
4.	Kompresor karbon monoksida	286.671,47	286.671,47
5.	Reaktor	10.700.046,09	10.700.046,09
6.	Expander	672.999,55	672.999,55
7.	Cooler menuju flash drum	13.292.074,95	13.292.074,95
8.	Flash drum	90.295,92	90.295,92
9.	Heater menuju distilasi	610.002,91	610.002,91
10.	Menara distilasi	2.339.313,99	2.339.313,99
11.	Kondensor	3.761.069,52	3.761.069,52
12.	Cooler menuju UPL	42.931,63	42.931,63
13.	Reboiler	2.785.365,89	2.785.365,89
14.	Cooler produk	762.481,83	762.481,83



**PROCESS FLOW DIAGRAM PRA PERANCANGAN PABRIK ASAM ASETAT DARI METANOL DAN KARBON MONOKSIDA
DENGAN METODE KARBONILASI METANOL (CATIVA PROCESS) DENGAN KAPASITAS 25.000 TON/TAHUN**



Keterangan:

Tekanan (atm)
 Suhu (°C)
 Nomor Aliran

No.	Kode	Alat
1	F-111	Tangki penyimpanan metanol
2	F-115	Tangki penyimpanan karbon monoksida
3	L-112	Pompa 1
4	E-113	Heater 1
5	G-114	Kompresor 1
6	E-116	Heater 2
7	G-117	Kompresor 2
8	R-110	Reaktor (fixed bed reactor)
9	G-118	Expander
10	E-119	Cooler 1
11	V-210	Flash drum
12	E-211	Heater 3
13	L-212	Pompa 2
14	D-220	Menara distilasi
15	E-221	Kondensor
16	F-222	Akumulator
17	L-223	Pompa 3
18	E-224	Cooler 2
19	L-225	Pompa 4
20	E-226	Reboiler
21	E-227	Cooler 3
22	L-228	Pompa 5
23	F-229	Tangki penyimpanan asam asetat

Komponen	Input		Output		
	<1>	<4>	<10>	<17>	<22>
CH ₃ OH	2163			24,271	
H ₂ O	22			143,218	1,447
CO		1713	34,261		
H ₂		35	34,96		
CH ₃ COOH				31,899	3157,975
CH ₃ COOCH ₃				505,029	
Total	3933		3933		

PRA PERANCANGAN PABRIK ASAM ASETAT DARI METANOL DAN KARBON MONOKSIDA DENGAN METODE KARBONILASI METANOL (CATIVA PROCESS) DENGAN KAPASITAS 25.000 TON/TAHUN

Oleh: Meliana Safitri 191910401025 Kiki Septianti 191910401040 Maharani Tri Wardhani 191910401101	Dosen Pembimbing Utama: Ir. Meta Fitri Rizkiana, S.T., M.Sc. Dosen Pembimbing Anggota: Ir. Bekti Palupi, S.T., M.Eng
--	---


**PROGRAM STUDI SI TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2023**

Gambar 1. Process Flow Diagram Pabrik Asam Asetat

3. Utilitas

Utilitas merupakan unit pendukung suatu proses dan bagian penting untuk menunjang berlangsungnya proses dalam suatu pabrik. Utilitas dibutuhkan untuk setiap unit proses produksi agar dapat berjalan dengan lancar. Utilitas pada pabrik asam asetat menggunakan proses karbonilasi metanol dengan kapasitas 25.000 ton/tahun terdiri dari :

1. Unit penyediaan dan pengolahan air
2. Unit pengadaan *steam*
3. Unit pengadaan energi listrik
4. Unit pengadaan bahan bakar
5. Unit pengolahan limbah

Pabrik asam asetat ini menggunakan 2 sumber air yaitu untuk air proses yang digunakan sebagai pendingin (*cooling water*) dan air umpan boiler (*boiler feed water*) menggunakan air sungai yang melalui proses pengolahan terlebih dahulu. Sedangkan, untuk air sanitasi menggunakan air PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum), dengan kebutuhan air sanitasi sebesar 948 kg/jam, *cooling water* sebesar 215.840,86 kg/jam, dan *boiler feed water* sebesar 215840,86 kg/jam. *Steam* digunakan sebagai media penukar panas pada reaktor, *heater*, dan *reboiler* pada kolom distilasi. Pembangkit *steam* berasal dari turbin dengan fluida penggerakannya berupa air dan mesin dengan bahan bakar bensin atau solar, dengan kebutuhan *steam* sebesar 1.489,57 kg/jam. Sumber energi listrik berasal dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Jika terjadi pemadaman maka terdapat generator cadangan dengan bahan bakar *diesel fuel*. Listrik pada pabrik asam asetat digunakan untuk mengoperasikan peralatan produksi, komponen instrumentasi dan utilitas serta fasilitas lainnya, dengan kebutuhan listrik sebesar 271,73 kWh. Bahan bakar yang digunakan pada pabrik asam asetat ini adalah *anthracite coal* yang merupakan bahan bakar boiler untuk unit pengadaan *steam* dan *diesel fuel* yang merupakan bahan bakar genset diesel sebagai kebutuhan listrik sekunder, dengan kebutuhan bahan bakar

anthracite coal sebesar 122,50 kg/jam dan *diesel fuel* sebesar 33,41 kg/jam. Salah satu proses pengendalian pencemaran adalah melalui pengolahan air limbah, pengelolaan limbah padat, pengelolaan limbah berbahaya, dan pengendalian pencemaran udara. Unit pengolahan limbah ini berfungsi untuk mengolah limbah hasil produksi tanpa menimbulkan kerugian atau masalah kepada masyarakat maupun lingkungan.

4. Analisa Ekonomi

Analisis ekonomi pada perancangan pabrik dilakukan untuk mengetahui kelayakan dari suatu pabrik beserta keuntungan yang diperoleh. Pabrik akan dianggap layak untuk didirikan apabila memiliki kondisi operasi yang dapat dikendalikan dan memberikan keuntungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisa perhitungan secara teknik dan analisa secara ekonomi. Analisa ekonomi pabrik asam asetat dengan kapasitas 25.000 ton/tahun menunjukkan bahwa pabrik membutuhkan *Total Production Cost* (TPC) sebesar Rp. 366.734.733.252,26 dengan *Total Capital Investment* (TCI) sebesar Rp. 107.772.612.937,94. Pemodalan pabrik 100% berasal dari pinjaman bank. Keuntungan yang diperoleh perusahaan tiap tahunnya sebesar Rp. 48.386.450.060,81 dengan harga jual asam asetat sebesar Rp. 17.250,00 /kg. Adapun hasil evaluasi ekonomi pabrik asam asetat tertera pada tabel 5.1.

5. Kesimpulan

Pabrik asam asetat dari metanol dan karbon monoksida menggunakan metode karbonilasi metanol (*cativa process*) direncanakan dibangun dengan kapasitas produksi kapasitas produksi 25.000 ton/tahun. Pabrik ini membutuhkan bahan baku berupa metanol sebanyak 17.305 ton/tahun dan karbon monoksida sebesar 13.844 ton/tahun. Pabrik direncanakan beroperasi 24 jam per hari dan 330 hari per tahun. Pabrik ini memiliki *pay out time* (POT) selama 2,04 tahun, laju pengembalian modal (ROR) 44 %, dan titik impas (BEP) 49,9 %.



Tabel 5.1 Evaluasi Ekonomi

No.	Parameter	Hasil	Syarat kelayakan	Kesimpulan
1.	<i>Annual Cash Flow</i> (ACF)	53%	Lebih besar dari bunga bank (9,11%)	Pabrik layak didirikan
2.	<i>Pay Out Time</i> (POT)	2,04 tahun	Kurang dari setengah umur pabrik (5 tahun)	Pabrik layak didirikan
3.	<i>Net Profit Over Total Life of The Project</i> (NPOTLP)	Rp. 502.614.500.608,07	Lebih besar dari TCI + jumlah bunga pinjaman)	Pabrik layak didirikan
4.	<i>Total Capital Sink</i> (TCS)	Rp. 442.085.690.019,84	Lebih besar dari TCI	Pabrik layak didirikan
5.	<i>Rate of Return</i> (ROR)	44%	Lebih besar dari bunga bank (9,11%)	Pabrik layak didirikan
7.	<i>Discounted Cash Flow Rate of Return</i> (DCF-ROR)	52,74%	Lebih besar dari bunga bank (9,11%)	Pabrik layak didirikan
8.	<i>Break even point</i> (BEP)	49,9%	40% < BEP < 50%	Pabrik layak didirikan

Daftar Pustaka

- Bidgoli, G. R., Naderifar, A., Mohammadrezaei, A. R., & Jafari Nasr, M. R. (2012). Kinetic Study, Modeling and Simulation of Homogeneous Rhodium-Catalyzed Methanol Carbonylation to Acetic Acid. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 31(1), 57–73.
- Cheung, H., Tanke, R. S., & Torrence, G. P. (2011). Acetic Acid. Dalam *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (hlm. 209–237). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
- Chu, W., Ooka, Y., Kamiya, Y., & Okuhara, T. (2005). Reaction path for oxidation of ethylene to acetic acid over Pd/WO₃-ZrO₂ in the presence of water. *Catalysis Letters*, 101(3–4), 225–228.
- Fitri, A., & Isnaeni, R. (2022). Pra Rancangan Pabrik Asam Asetat dari Etil Asetat dengan Katalis Amberlyst-15 Melalui Proses Hidrolisis Kapasitas 33.000 ton/tahun. *Jurnal Tugas Akhir Teknik Kimia*, 5(2), 90–95.
- Forster, D. (1979). Mechanistic Pathways in the Catalytic Carbonylation of Methanol by Rhodium and Iridium Complexes. Dalam *Advances in Organometallic Chemistry* (Vol. 17, hlm. 255–267).
- Jones, J. H. (2000). The Cativa Process for the Manufacture Plant of Acetic Acid. *Platinum Metals*, 44(3), 94–105.
- Kinnunen, T., & Laasonen, K. (2001). The oxidative addition and migratory insertion in the Monsanto and Cativa processes. A density functional study of the catalytic carbonylation of methanol. *Journal of Molecular Structure (Theochem)*, 542, 273–288.
- Kirk, R. E., & Othmer, D. F. (1954). *Encyclopedia of Chemical Technology* (3 ed., Vol. 12). International Publisher Inc.
- McKetta, J. J., & Cunningham, W. A. (2002). *Encyclopedia of chemical processing and design* (Vol. 69). Marcel Dekker, Inc.
- Morales-Vera, R., Crawford, J., Dou, C., Bura, R., & Gustafson, R. (2020). Techno-Economic Analysis of Producing Glacial Acetic Acid from Poplar Biomass via Bioconversion. *Molecules*, 25(18), 1–16.
- Pal, P., & Nayak, J. (2017). Acetic Acid Production and Purification: Critical Review Towards Process Intensification. Dalam *Separation and Purification Reviews* (Vol. 46, Nomor 1, hlm. 44–61). Taylor and Francis Inc.
- Raj, T. P. (2014). *Plant Design for Manufacturing Acetic Acid*.
- Shareie, M., Zilabi, S., Chehrazi, A., & Tadjadod, M. (2021). New catalyst complexes of acetic acid synthesis from methanol carbonylation reaction: A Review. *The International Conference on New Research & Achievement in Science, Engineering & Technologies*, 1–19.
- Ulrich, G. D. (1984). *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics* (1 ed.). John Wiley & Sons.





- Vidra, A., & Németh, Á. (2018). Bio-produced acetic acid: A review. Dalam *Periodica Polytechnica Chemical Engineering* (Vol. 62, Nomor 3, hlm. 245–256). Budapest University of Technology and Economics.
- Wagner, F. S. (2014). Acetic Acid. Dalam *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology* (Vol. 1, hlm. 1–21).
- Webber III, C. L., White Jr, P. M., Shrefler, J. W., & Spaunhorst, D. J. (2018). Impact of Acetic Acid Concentration, Application Volume, and Adjuvants on Weed Control Efficacy. *Journal of Agricultural Science*, 10(8), 1–6.
- Yoneda, N., Kusano, S., Yasui, M., Pujado, P., & Wilcher, S. (2001). Recent Advances in Processes and Catalysts for The Production of Acetic Acid. *Applied Catalysis A: General*, 221(1–2), 253–265.

