

PRARANCANGAN PABRIK *HEXAMINE* MENGGUNAKAN METODE AGF LEFEBVRE DENGAN KAPASITAS PRODUKSI 17.000 TON/TAHUN

Sabrina Immi¹, Zallianty Putri Wahyudi^{1,*}, Devinda Nisa Agustin¹, Helda Wika Amini¹, Boy Arief Fachri¹, Bektu Palupi¹, Meta Fitri Rizkiana¹

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

*Corresponding Author: 201910401014@mail.unej.ac.id

Abstrak

Hexamethylenetetramine, atau lebih dikenal sebagai hexamine, merupakan senyawa organik multifungsi dengan rumus kimia (CH₂)₆N₄ yang telah lama dimanfaatkan dalam berbagai industri, diantaranya farmasi hingga produksi bahan peledak. Perencanaan pendirian pabrik hexamine kapasitas produksi 17.000 ton/tahun di Jl. Gubernur Soebardjo, Banjarmasin, Kalimantan selatan, dengan luas tanah 21336,9 m², diharapkan menjadi langkah strategis untuk memenuhi kebutuhan industri dalam negeri. Proses produksi yang mengadopsi metode AGF Lefebvre, melibatkan reaksi eksotermis yang terkendali dalam reaktor gelembung, produk hexamine dengan konversi 97 % dapat dihasilkan. Analisis kelayakan ekonomi menunjukkan proyek ini sangat prospektif, dengan nilai break-even point (BEP) sebesar 44,41%, rate of return (ROR) sebesar 34,07%, keuntungan (Profitability) dengan rincian laba kotor sebesar US\$ 9.513.293,76 dan laba bersih sebesar US\$ 7.134.970,32 serta Pay Out Time (POT) selama 2,3 tahun, menyatakan bahwa pendirian pabrik hexamine pada tahun 2027 tidak hanya memenuhi kebutuhan industri, namun turut berkontribusi pada pertumbuhan ekonomi daerah, mengurangi ketergantungan pada impor, dan membuka peluang pasar baru bagi produk-produk turunan hexamine.

Kata kunci : Hexamine, reaktor gelembung, AGF Lefebvre, Analisa Ekonomi

1. Pendahuluan

Industri di Indonesia mengalami perkembangan seiring dengan perkembangan teknologi, industri yang berkembang pesat salah satunya yaitu industri kimia. Keberadaan industri ini berperan penting untuk keberlangsungan kehidupan manusia dalam bidang pendidikan, kesehatan dan keamanan. Industri kimia saat ini menunjukkan perkembangan yang cukup baik. Hal ini dikarenakan terdapat pembangunan pabrik baru dan peningkatan kapasitas produksi, serta peningkatan kebutuhan pasar di luar maupun dalam negeri. Oleh karena itu, diperlukan pendirian pabrik-pabrik baru atau peningkatan kapasitas produksi yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, salah satunya adalah pendirian pabrik *hexamine*. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, seiring berjalannya waktu dari tahun ke tahun impor *hexamine* di Indonesia meningkat.

Hexamine adalah senyawa *organic heterocyclic* yang memiliki rumus kimia C₆H₁₂N₄ mempunyai kelarutan yang tinggi terhadap air dan beberapa amina tersier lainnya serta *hexamine* memiliki kelarutan terbalik pada suhu rendah (Kralj, 2013). *Hexamine* digunakan dalam industri farmasi, bidang kedokteran, industri karet, industri baja, dan industri resin (Maziyah et al., 2016).

Pabrik *hexamine* direncanakan akan didirikan pada tahun 2027. Penentuan kapasitas produksi disesuaikan dengan kebutuhan pasar pada tahun tersebut. Beberapa pertimbangan yang dilakukan untuk menentukan kapasitas diantaranya melalui ketersediaan bahan baku, data impor produk, dan kapasitas pabrik yang sudah ada. Kapasitas pabrik tahun 2027 ditentukan dengan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned}m &= P(1 + i)^n \\ &= 18,510,6 (1 + 0,008275)^4 \\ &= 20402,58 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

Berdasarkan nilai *m* yang telah didapatkan pada perancangan pabrik, direncanakan kapasitas pabrik produksi sebesar 85% dari kebutuhan teoritis yaitu sebesar 17.000 ton/tahun.

2. Deskripsi Proses

Hexamine melibatkan reaksi antara amonia dan formaldehida. Ditinjau dari segi komersial, terdapat empat metode utama yang umum digunakan untuk memproduksi *hexamine* :



Tabel 1. Metode proses pembuatan *hexamine*

Sifat	Proses			
	<i>Meissner</i>	<i>Leonard</i>	<i>AGF Lelevbre</i>	<i>F. Mclean</i>
Fase	Gas-gas	Cair-cair	Cair-gas	Cair-cair
T(°C)	60-65	30-50	62-66	20-70
P(atm)	1	16	1	1
Konversi	97%	98%	97%	98%

Berdasarkan keempat uraian proses di atas, maka pra-rancangan pabrik *hexamine* mengadopsi proses *AGF Lefebvre* (cair-gas) menurut *Paten AS No. 3.288.790* (1966) dan beberapa pertimbangan diantaranya karena tekanan lebih rendah sehingga memudahkan kontrol proses dan suhu yang tinggi dapat mengoptimalkan reaksi yang berlangsung, alat yang digunakan lebih sedikit sehingga meminimalisir biaya produksi, konversi yang diperoleh tidak jauh berbeda dibandingkan dengan metode lainnya. Terdapat 3 tahapan dalam pembuatan *hexamine* yaitu:

1. Tahap Persiapan Bahan Baku
 - a. Gas amonia

Bahan baku gas amonia 99,99% pada suhu -33°C yang berasal dari PT. Kaltim Parna Industri disimpan dalam tangki penyimpanan (F-120). Gas amonia dialirkan dari tangki penyimpanan yang nantinya akan diteruskan masuk menuju *heater-2* (E-121) dan diteruskan kedalam reaktor (R-210) dengan suhu 40°C.

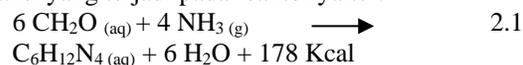
- b. Formaldehida

Larutan Formaldehida 37% disimpan dalam tangki penyimpanan (F-110) pada suhu 30°C dengan tekanan 1 atm kemudian dialirkan menuju *vaporizer* (V-112) untuk menguapkan formaldehida yang masih mengandung 2,5 % metanol, dikarenakan pada proses *agf lefevre*, digunakan formaldehida bebas metanol. Keluaran *vaporizer* berupa gas formaldehida dan air dengan suhu 50°C yang akan dialirkan menuju kondensor (E-113). Pada kondensor terjadi perubahan fase yaitu dari gas menjadi cair sehingga produk keluaran berupa larutan formaldehida dan air dengan suhu 30°C. Keluaran kondensor dialirkan menuju *heater-1* (E-114) hingga mencapai suhu 40°C. Kemudian formaldehida masuk ke dalam reaktor (R-210).

2. Tahap Pembentukan *Hexamine*

Pembentukan *Hexamine* dilakukan dengan mengumpukan kedua bahan baku kedalam reaktor dengan mereaksikan formaldehida dan gas amonia

dalam perbandingan mol 3:2 (*Paten AS No 3.288.790, 1966*). Reaksi berlangsung dalam dua fase cair dan gas. Proses heterogen ini menghasilkan produk dengan konversi mencapai 97%. Reaksi dijalankan dalam Reaktor gelembung (*Packed Buble Reactor*) (R-210) pada keadaan isothermal 62°C. Tekanan pada pengoperasian reaktor yaitu sebesar 16 atm. Reaksi eksotermis yang terjadi dalam reaktor menghasilkan panas yang signifikan. Untuk menjaga suhu reaksi tetap optimal, sistem pendingin berbasis air bekerja sama dengan sparger. Sparger berfungsi mengabutkan gas amonia ke dalam larutan reaktan secara merata, memastikan efisiensi proses produksi. Reaksi yang terjadi pada reaktor yaitu :



Hexamine yang dihasilkan dari reaktor (R-210) dengan suhu 62°C serta tekanan 1 atm kemudian diturunkan tekanannya menggunakan *expansion valve* (G-211) menjadi 0,1 – 0,3 atm untuk persiapan sebelum masuk ke evaporator. Produk selanjutnya akan dialirkan menuju evaporator (V-310) menggunakan pompa (L-212) dengan suhu operasi evaporator adalah 95°C. Proses pemekatan produk dilakukan dengan menggunakan evaporator yang beroperasi pada tekanan vakum (di bawah 1 atm) untuk mencegah dekomposisi *hexamine*. Produk keluaran evaporator diumpankan menggunakan *valve*. *Hexamine* terkandung dalam *slurry* yang diperoleh melalui proses evaporasi. *Slurry* yang dihasilkan pada evaporator akan diumpankan menuju *crystallizer* (S-320) dengan menggunakan pompa (L-312) yang bertujuan untuk membentuk kristal dari *hexamine* pekat. Kristal *hexamine* keluaran *crystallizer* akan dialirkan menuju *centrifuge* (H-330) untuk memisahkan fase padat (kristal *hexamine*) dari fase cair. Fase cair dari kristal akan di *recycle* kembali menuju *crystallizer* (S-320). Setelah proses kristalisasi, kristal *hexamine* berukuran seragam kemudian dialirkan melalui *screw conveyor* (J-331).

3. Tahap Pemurnian dan Penyimpanan Produk

Rotary dryer (B-340) jenis drum digunakan untuk memurnikan produk pada tahap ini. Proses ini melibatkan penguapan sisa-sisa air, menghasilkan produk dengan kemurnian mencapai 97%. Produk hasil pengeringan kemudian didinginkan melalui *cooling conveyor* (J-344) sebelum digiling menggunakan *ball mill* (C-350) untuk mendapatkan ukuran partikel yang seragam dan selanjutnya disalurkan ke *screener* (H-360) yang bertujuan untuk



memisahkan padatan yang telah halus dengan yang kasar. Padatan kasar akan disalurkan kembali ke *ball mill* sedangkan padatan halus dari *screener* akan masuk ke tangki penyimpanan *hexamine* atau silo (F-370).

3. Utilitas

Penunjang kebutuhan proses produksi pada suatu pabrik merupakan fungsi dari utilitas. Dalam pabrik *hexamine* diperlukan adanya sarana penunjang demi suatu kelancaran proses produksi.. Sarana penunjang ialah sarana lain yang harus dimiliki oleh pabrik karena keberadaannya memiliki pengaruh yang sama dengan bahan baku dan bahan pembantu. Perancangan pabrik *hexamine* memiliki beberapa unit pendukung proses (unit utilitas) adalah sebagai berikut:

3.1 Unit pengolahan air

Air dalam proses produksi *hexamine* menggunakan sumber air yang berasal dari sungai Barito. Proses air sungai menjadi air bersih melalui beberapa tahapan yaitu prasedimentasi, *clarification*, filtrasi, dan disinfektan. Kebutuhan air pada perancangan pabrik *hexamine* secara keseluruhan yaitu :

Tabel 2. Total kebutuhan air

Jenis Kebutuhan	Laju alir (kg/jam)
Air Umpan Boiler	2682,71
Air Pendingin	170722,58
Air Sanitasi	517,89
Total	173923,18

3.2 Unit penyediaan steam

Penyediaan *steam* digunakan untuk memenuhi kebutuhan *steam* pada alat proses produksi. *Steam* berasal dari air umpan boiler yang kemudian di proses pada boiler dengan suhu 100°C. Alat proses yang membutuhkan steam meliputi heater formaldehida sebesar 17,87 kg/jam, heater amonia sebesar 27,82 kg/jam, vaporizer sebesar 1851,848 kg/jam, evaporator 338,05 kg/jam. Untuk mencegah terjadinya kekurangan air umpan boiler dalam menyediakan steam sehingga ditambahkan *make up* air sebesar 20% maka total air umpan boiler yang dibutuhkan sebesar 2682,71 kg/jam.

3.3 Unit penyediaan listrik

Listrik pada pabrik ini menggunakan bantuan tenaga yang berasal dari PLN. Cadangan listrik lainnya pada pabrik ini menggunakan pasokan listrik yang berasal dari generator. Kebutuhan listrik berasal dari PLN terdekat di wilayah Jl. Gubernur Soebardjo, Banjarmasin, Kalimantan selatan tempat pendirian pabrik *hexamine* yaitu PLN Ahmad Yani. Berikut adalah total kebutuhan listrik pabrik *hexamine* :

Tabel 3. Total kebutuhan listrik

No.	Jenis Kebutuhan	Daya (kW/jam)
1.	Peralatan Proses, Utilitas, dan Instrumentasi	178
2.	Kantor, Laboratorium, dan Fasilitas Lainnya	35,6
3.	Penerangan	633
	Total Kebutuhan	803,54
4.	Faktor keamanan (20%)	160,71
	Total	964,24

3.4 Unit penyediaan bahan bakar

Penyediaan bahan bakar bertujuan dalam memenuhi kebutuhan bahan bakar genset dan boiler. Untuk bahan bakar dalam penyediaan umpan boiler digunakan *Antrachite coal*, sedangkan bahan bakar dalam penyediaan listrik menggunakan *diesel fuel*.

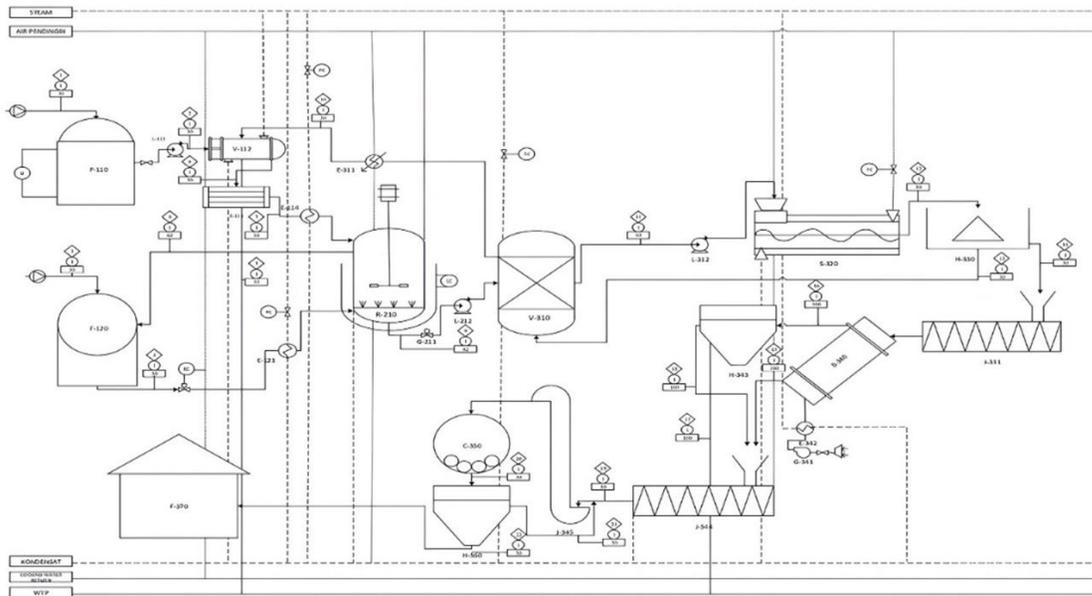
Tabel 4. Total kebutuhan bahan bakar

No	Jenis Kebutuhan	Jumlah
1	<i>Antrachite coal</i>	140,6 kg/jam
2	<i>diesel fuel</i>	178,4 kg/jam

3.5 Unit pengolahan limbah

Limbah cair pada pabrik *hexamine* yaitu berupa hasil samping pada alat vaporizer yang menghasilkan metanol yang bercampur dengan air. Air kondensat dan air sanitas juga merupakan limbah pada pabrik. Limbah cair yang mengandung metanol akan diolah dengan cara distilasi. Pada pemisahan metanol dan air menggunakan distilasi sederhana. Pada pemisahan ini metanol memiliki *relative volatility* yang tinggi sehingga dapat menguap menjadi hasil atas dan akan masuk pada kondensor untuk menghasilkan distilat, sedangkan air menjadi hasil bawah sebagai residu (Nurhabibi & Wibowo, 2023). Limbah air kondensat akan digunakan kembali dan diproses pada pengolahan air pada penyediaan air bersih di pabrik. Limbah padat pada pabrik *hexamine* yaitu berasal dari





LC	Level Control	F-110	Tanki Penyimpanan CH ₂ O
RC	Rate Control	F-120	Tangki Penyimpanan NH ₃
PC	Pressure Control	L-111	Pompa 1
TC	Temperature Control	V-112	Vaporizer
FIC	Flow Indicator Control	E-113	Kondensor
◇	Nomor Arus	E-114	Heater 1
□	Temperature (°C)	E-121	Heater 2
○	Tekanan (Atm)	R-210	Reaktor
—	Steam	G-211	Expansion Valve
- - -	Air Pendingin	L-212	Pompa 2
		V-310	Evaporator 1
		E-311	Cooler
		L-312	Pompa 3
		S-320	Cryztallizer
		H-330	Centrifuge
		J-331	Screw Conveyor
		B-340	Rotary Dryer
		G-341	Filter Udara
		E-342	Heater 3
		H-343	Cyclone
		J-344	Cooling Conveyor
		J-345	Bucket Elevator
		B-350	Ball Mill
		H-360	Screen
		F-370	Silo

Komponen	Kg/Jam																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
NH ₃			997,6	1027,9				30,84														
CH ₂ O	2639,3	2639,3		0,66		2720,97	2720,97		81,63	81,6												
CH ₃ OH	178,33	178,33			178,33																	
H ₂ O	4315,7	4315,7	0,5		5925,4		0,155	1593,96	1431	2560	2530	2397,58	132,55	63,78	68,77	68,77		63,78	66,96	3,19	63,78	
C ₆ H ₁₂ N ₄									2052,82		204,7	41,89										
C ₆ H ₁₂ N ₄ (s)												2081,9	41,89	2082,9	2062,06	20,83	0,21	20,62	2082,68	2186,82	104,134	2082,68
Suhu	30	30	30	30	50	30	30	62	62	30	95	30	30	30	100	100	100	100	100	30	30	30
Tekanan	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Total Entalpi		2177,83	1603951		146293,7	19630,93	1695,3	586	1393609	51746,5	197274	13992	1306,2	15299	1310,2	19619			646,21	120,15	24748	

Gambar 1. Flow Diagram Proses

limbah rumah tangga (domestik). Penanganan limbah padat ini bekerja sama dengan pihak tempat pembuangan akhir di wilayah pendirian pabrik. TPA terdekat yaitu TPA Basirih.

4. Analisis Ekonomi

Analisa ekonomi adalah komponen penting dalam suatu perencanaan pembangunan suatu pabrik. Analisa ekonomi bertujuan dalam menentukan kelayakan pendirian suatu pabrik dan mengetahui pabrik dapat menghasilkan laba atau tidak dari segi komersial. Adapun faktor yang diperhatikan dalam menganalisis ekonomi sebuah pabrik :

Tabel 5 .Evaluasi ekonomi pabrik

Analisa	Hasil perhitungan	Kesimpulan
ACF	43,07%	Layak
POT	2,3 tahun	Layak
NPOTLP	US\$ 72.666.996,17	Layak
TCS	US\$ 72.160.031,18	Layak
ROR	34,07%	Layak
DCF-ROR	41,9%	Layak
BEP	44,41%	Layak

5. Kesimpulan

Kesimpulan dari pabrik *hexamine* menggunakan metode *agf lefevre* yaitu Lokasi pabrik berada di Jl. Gubernur Soebarjo, Basirih, Kec. Banjarmasin Barat, Kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan. Kapasitas produksi pabrik *hexamine* sebesar 17.000 ton/tahun. Pabrik *hexamine* beroperasi secara kontinyu selama 330 hari/tahun. Kelayakan pabrik ini dapat dilihat berdasarkan analisa ekonomi yang dilakukan, yaitu meliputi: *Annual Cast Flow (ACF)* sebesar 43,07%, *Pay Out Time (POT)* selama 2,3 tahun,

Daftar Pustaka

- Alamdari, A., & Tabkhi, F. (2004). Kinetics of heksamin crystallization in industrial scale. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 43(7), 803–810. [https://doi.org/10.1016/S0255-2701\(03\)00085-0](https://doi.org/10.1016/S0255-2701(03)00085-0)
- Anhar, A., Dewi, E., & Purnamasari, I. (2021). Proses Pengolahan Air Pada Tangki Klarifier ditinjau dari Laju Alir dan Konsentrasi Koagulan di PLTG Borang. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 1(8), 315–320. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.77>
- Azis, I. M., Yenni, A., & Acton, I. S. (2018). Implementasi Sand Filter Dan Carbon Filter Dalam Mengoptimalkan Kualitas Air Bersih

Di Asrama Tower. *Jurnal Ilmiah Aviari Langit Biru*, 11(1), 63–68.

- Badan Pusat Statistik. 2020. *Statistic Indonesian*. www.bps.go.id. Diakses pada 22 November 2023 pukul 20.30 WIB.
- Badan Pusat Statistik. 2023. *Statistic Indonesian*. www.bps.go.id. Diakses pada 26 November 2023 pukul 22.00 WIB.
- Badan Pusat Statistik. 2023. *Statistic Indonesian*. www.bps.go.id. Diakses pada 26 November 2023 pukul 22.30 WIB.
- Brown, G. G. 1951. *Unit Operations*. New Delhi: CBS Publisher
- Brownell, L. E., Young, E. H. 1959. *Process Equipment Design*. USA : John Willey & Sons Inc.
- Dreyfors, J. M., Jones, S. B., & Sayedy, Y. (1989). Hexamethylenetetramine: A Review. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 50(11), 579–585. "
- Fatmala, Y., W, Y. D. A., Paskarini, I., & Martiana, T. (2023). Evaluasi Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) Untuk Meningkatkan Keselamatan Kerja di Industri Kimia. *Journal of Nursing and Health (JNH)*, 8(2), 170–179.
- Geankoplis, C. J. 2003. *Transport Process and Unit Operations 4th Edition*. USA : Pretice Hall.
- Grupta, R.K., 1987, *Industrial Chemical Engineering Handbook*, Small Business Publication, Roop Nagar, Dehli, India
- Himmelblau, D. M. 1996. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*. London : Prentice Hall International.
- JSC Metafrax. 2016. metafrax.ru, Rusia. Diakses pada tanggal 23 Maret 2019 Pukul 22.50 WIB.
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. Japan: Mc Graw Hill Book Company
- Kent, J.A., 1974, *Riegel's Handbook of Industrial Chemistry*, 7th edition, Litton Educational Publishing, Inc., USA
- Kermode, R.I. and Stevens, W.F., 1965, *Canadian Journal Chemical Engineering*, volume 43 no 63
- Kralj, A. K. (2013). Energy-Efficient Heksamin Production Process. *Advanced Chemical Engineering Research*, 2(3), 51–54. www.seipub.org/acer
- Kusnarjo. 2010. *Desain Bejana Bertekanan*. ITS Press
- Lefebvre, Andre G. F., Roger D. F. Liege, Angleur Englebert, and Arthur V. J. Geukenne. 1966. "Production Of Hexamethylene Tetramne." 1–8.
- Ludwig, Ernest E. 1991. *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Volume 1 Third Edition*. Houston: Gulf Publishing Company.



- Maxwell, Gary, 2004, *Synthetic Nitrogen Products A Practical Guide to the Products and Processes*, Springer Science & Business Media, New York
- Maziyah, N., Rahmah, L. N., & Widjaja, A. (2016). Pra Desain Pabrik Hexamethylene Tetramine dari Formaldehida dan Ammonia Menggunakan Proses Meissner dengan Kapasitas Produksi 7000 Ton. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 228–231. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.16706>
- Meissner, F., Schwiedessen, E., & Othmer, D. F. (1954). Continuous Production of Hexamethylenetetramine. *Industrial & Engineering Chemistry*, 46(4), 724–727. <https://doi.org/10.1021/ie50532a035>
- Noor, E. (2017). PENINGKATAN KUALITAS PENGOLAHAN AIR BERSIH DENGAN PERBAIKAN PROSES OKSIDASI (Studi Kasus di Instalasi Pengolahan Air PT. Jababeka) Improvement of Water Treatment Plant with Optimalization of Oxidation Process (Case study at Water Treatment Plant PT. Jabab. *Journal of Env. Engineering & Waste Management*, 2(2), 91–100.
- Nurhabibi, M. R., & Wibowo, A. A. (2023). Studi Kasus Suhu Umpan Distilasi Rekoveri Metanol Pada Produksi Metil Asetat Dengan Kolom Scds Menggunakan Simulasi Chemcad. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 6(2), 117–122. <https://doi.org/10.33795/distilat.v6i2.87>
- Perry, S., Perry, R H., Green, D. W., & Maloney, J. O. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook Seventh Edition*. New York: Mc Graw Hill.
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. 2003. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 5th Edition*. Boston: Mc Graw Hill.
- Perusahaan Indonesia. 2024. <http://www.daftarperusahaanindonesia.com>, Indonesia. Diakses pada 7 Maret 2024 pukul 16.31 WIB.
- Ponda, H., & Fatma, N. F. (2019). Identifikasi Bahaya, Penilaian Dan Pengendalian Risiko Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) Pada Departemen Foundry Pt. Sicamindo. *Heuristic*, 16(2), 62–74. <https://doi.org/10.30996/he.v16i2.2968>
- Pratama, G. A. P., Dewi, E., & Meidinariasty, A. (2021). Proses Pengolahan Air Pada Prasedimentasi Ditinjau dari Laju Alir dan Waktu Pengendapan Di PLTG Borang. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 1(8), 339–343. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.79>
- Priambodo, D., Alimah, S., & Dewita, E. (2019). Studi Banding Sistem Demineralisasi Air Pada PLTN OPR 1000 dan AP 1000. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 11(2), 83–91.
- Raharjo, R. W., B, A. A., & Kasrani, M. W. (2023). Pemodelan Sistem Pengendalian Level Deaerator Berbasis Self-Tuning Fuzzy PID Controller di PLTU Teluk Balikpapan. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 11(2), 191–205. <https://doi.org/10.32487/jtt.v11i2.1672>
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. Texas: Mc Graw Hill.

