

PRARANCANGAN PABRIK ASAM ASETILSALISILAT DARI ASAM SALISILAT, ASETAT ANHIDRAT, DAN KALSIUM OKSIDA DENGAN MENGGUNAKAN PROSES ASETILASI KAPASITAS 1.800 TON/TAHUN

Sacajawea¹, M.Nizar¹, Ahmad¹, Helda Wika Amini¹, Boy Arief Fachri¹, Zuhriah Mumtazah¹, Meta Fitri Rizkiana¹

¹Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember,
Jl. Kalimantan Tegalboto No. 37, Krajan Timur, Sumbersari, Jember, Jawa Timur 68121

*Corresponding Author: sacajawea6@gmail.com

Abstrak

Asam asetilsalisilat merupakan senyawa kimia yang digunakan sebagai bahan baku obat anti inflamasi non steroid (NSAID) di bidang kesehatan. Perencanaan pendirian pabrik asam asetilsalisilat dengan kapasitas 1.800 ton/tahun di Kawasan Industri MM 2100 Kelurahan Sukasejati, Kecamatan Cikarang Selatan, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat dengan luas tanah 17.597 m², Asam asetilsalisilat di produksi menggunakan proses asetilasi. Proses asetilasi antara asam salisilat dan asetat anhidrat terjadi di CSTR menggunakan bantuan kalsium oksida sebagai agen penetralisir asam sehingga membentuk asam asetilsalisilat, kalsium asetat, dan air. Asam asetilsalisilat dipisahkan dari pengotornya melalui Rotary Drum Vacuum Filter (RDVF) dan Centrifuge sehingga didapatkan kemurnian 99%. Pabrik asam asetilsalisilat direncanakan berdiri dalam bentuk Perseroan terbatas (PT) dengan jumlah karyawan 98 orang. Evaluasi ekonomi menunjukkan nilai Pay Out Time (POT) adalah 3 tahun, Rate of Return Investment (ROR) sebesar 32%, dan Break Event Point (BEP) sebesar 42%. Laba kotor yang didapatkan dari penjualan produk sebesar Rp. 158.174.425.887,- dan laba bersih sebesar Rp 118.630.819.415,-. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, maka pabrik asam asetilsalisilat dari asam salisilat, asetat anhidrat, dan kalsium oksida layak untuk didirikan.

Kata kunci: Asam asetilsalisilat, asetilasi, CSTR.

1. Pendahuluan

Indonesia sebagai negara berkembang berupaya terus menerus dalam mengembangkan sektor perindustrian untuk memenuhi angka kebutuhan domestik serta meningkatkan nilai tambah akan barang dan jasa yang unggul. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik tahun 2022 tercatat bahwa prosentase sektor perindustrian sebesar 17,84 % dari jumlah data distribusi Produk Domestik Bruto (PDB) di Indonesia. Salah satu industri yang memiliki peranan cukup penting yaitu industri kimia khususnya industri farmasi. Hal ini di latar belakang oleh Instruksi Presiden Nomor 6 Tahun 2016 untuk menjamin ketersediaan farmasi dan alat kesehatan, sebagai upaya peningkatan pelayanan kesehatan dalam rangka jaminan kesehatan nasional. Kebutuhan masyarakat terhadap obat-obatan menunjukkan peningkatan melalui adanya pengoperasian Badan Penyelenggara Jaminan Sosial (BPJS). Pertumbuhan

penduduk Indonesia yang kian bertambah menjadikan industri farmasi cukup potensial menjadi salah satu industri terbesar di Asia bahkan dunia. Indonesia sendiri merupakan pangsa pasar farmasi terbesar di kawasan ASEAN mencapai 27 % dari total pangsa pasar ASEAN, dimana 73 % pangsa pasar farmasi nasional didominasi oleh perusahaan farmasi lokal (Ahsan, 2022). Sehingga memiliki potensi yang sangat baik dalam mendominasi pasar farmasi di ASEAN, menurut survey yang dilakukan oleh Global Data, pasar farmasi Indonesia di ASEAN bernilai sebesar IDR 141,6 miliar (USD 10,11 miliar) pada tahun 2021.

Salah satu obat dengan kebutuhan cukup tinggi yaitu obat antipiretik dan analgesik. Menurut data Badan Pusat Statistik tahun 2024 diketahui nilai impor obat-obatan antipiretik dan analgesik yang mengandung asam asetilsalisilat meningkat dari



rentang tahun 2019 hingga 2023. Selain digunakan sebagai obat antipiretik dan analgesik, asam asetilsalisilat memainkan peran penting dalam pencegahan dan pengobatan penyakit kardiovaskular seperti serangan jantung dan stroke (Patrono et al, 2019). Berdasarkan hasil Riskedas 2018, prevalensi stroke di Indonesia meningkat dari 7 per 1000 penduduk. Se jauh ini negara kita hanya memiliki satu pabrik yang memproduksi asam asetilsalisilat yaitu PT. Bayer Indonesia. Mengingat kebutuhan asam asetilsalisilat yang semakin meningkat dalam 4 tahun terakhir. Sehingga perlu pendirian pabrik asam asetilsalisilat baru guna memenuhi kebutuhan obat-obatan analgesik dan antipiretik domestik yang selaras dengan program pemerintah dalam percepatan pengembangan industri farmasi.

Kapasitas produksi pabrik dapat ditentukan dengan menganalisis ekspor, impor, produksi, dan konsumsi pasar dari tahun ke tahun sehingga didapatkan peluang kapasitas tersebut. Pemilihan kapasitas produksi digunakan sebagai dasar pertimbangan dalam mengetahui perhitungan kebutuhan dari asam asetilsalisilat (Kusnarjo, 2010). Data tersebut dapat dilihat pada tabel 1 berikut :

Tabel 1 Data Impor Asam asetilsalisilat di Indonesia

Tahun	Jumlah (ton/tahun)	Pertumbuhan (%)
2018	6,606	0
2019	11,325	71,435
2020	11,35	0,221
2021	56,713	399,674
2022	157,789	178,224
2023	190,543	20,758
Total	434,326	670,312
Rata-rata	111,719	

(BPS, 2024)

Pabrik asam asetilsalisilat direncanakan didirikan pada tahun 2028. Penentuan kapasitas dilakukan menggunakan metode discounted melalui persamaan sebagai berikut :

$$m_1 + m_2 + m_3 = m_4 + m_5 \quad (1.1)$$

Keterangan :

m_1 = nilai impor pada tahun 2028

m_2 = nilai produksi dalam negeri

m_3 = kapasitas pabrik yang akan didirikan

m_4 = nilai ekspor pada tahun 2028

m_5 = nilai konsumsi dalam negeri pada tahun 2028

Berdasarkan persamaan 1.1 diperoleh kapasitas produksi pabrik yang akan didirikan pada tahun 2028 adalah sebesar 6109,869 ton/tahun. Kapasitas tersebut terbilang cukup besar untuk ukuran pabrik baru, sehingga kapasitas produksi hanya diambil sebesar 30% dari kapasitas yang telah diperhitungkan. Kapasitas pabrik asam asetilsalisilat yang akan didirikan pada 2028 yaitu sebesar 1832,961 ton/tahun yang dibulatkan menjadi 1800 ton/tahun.

Tabel 2 Data Ekspor Asam asetilsalisilat di Indonesia

Tahun	Jumlah (ton/tahun)	Pertumbuhan (%)
2018	0	0
2019	0,006	100
2020	0	-100
2021	0	0
2022	0	0
2023	1,95	100
Total	1,956	100
Rata-rata	16,667	

(BPS, 2024)

2. Deskripsi Proses

Proses pembuatan asam asetilsalisilat dapat dilakukan menggunakan berbagai macam proses diantaranya nya proses asetilasi tanpa katalis, proses asetilasi dengan tambahan kalsium oksida, dan proses asetilasi dengan bantuan katalis nano crystalline sulfated zirconia. Pada aspek teknis proses asetilasi menggunakan katalis nano crystalline sulfated zirconia membutuhkan suhu operasi tinggi serta preparasi katalis yang lama namun memiliki konversi yang tinggi 99%, pada aspek ekonomi dan lingkungan proses asetilasi dengan tambahan kalsium oksida menjadi proses paling optimal dimana proses sederhana dan ramah lingkungan.

Berdasarkan uraian diatas dipilih proses asetilasi dengan tambahan kalsium oksida dengan pertimbangan waktu reaksi yang cepat, tidak membutuhkan suhu tinggi (70°C), menghasilkan konversi tinggi (98%), proses sederhana serta tidak memerlukan eliminasi residu asam.

Proses asetilasi dengan tambahan kalsium oksida terbagi menjadi beberapa tahapan, yaitu :

a. Tahap persiapan bahan baku

Bahan baku pembuatan asam asetilsalisilat ($C_9H_8O_4$) yaitu asam salisilat dengan kemurnian 99,5%, asetat anhidrat dengan kemurnian 99,5%, dan kalsium oksida dengan kemurnian 99,9%. Asam



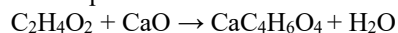
salisilat dan kalsium oksida yang berada dalam silo penyimpanan (F-110) dan (F-130) dipanaskan menggunakan heating screw conveyor (J-111) dan (J-131) hingga suhu 70 °C lalu diangkut menggunakan bucket elevator (J-112) dan (J-132) menuju reaktor melewati Hopper (F-113) dan (F-133). Bahan baku asetat anhidrat yang disimpan dalam tangki penyimpanan (F-120) selanjutnya dipompa menggunakan pompa sentrifugal (L-121) dan dipanaskan melalui heater (E-122) untuk memperoleh suhu 70°C sebelum menuju reaktor.

b. Tahap pembentukan asam asetilsalisilat

Proses sintesis yang dilakukan mengacu pada paten (US6278014) dengan mereaksikan bahan baku seperti asam salisilat, asetat anhidrat dan kalsium oksida dengan perbandingan stoikiometri dalam mol 1:1:0,5 masuk kedalam reaktor CSTR (R-210) yang dilengkapi dengan *jacket* pendingin. Reaksi berlangsung pada suhu 70 °C dengan tekanan 1 atm selama 20 menit secara eksotermis. Produk yang dihasilkan berupa asam asetilsalisilat dengan sebesar 98% sebagai produk utama, kalsium asetat dan air sebagai produk samping. Kemudian produk didinginkan menggunakan Cooling Screw Conveyor (J-211). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

$$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3 + \text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3 \rightarrow \text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4 + \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$$

Reaksi pembentukan kalsium asetat :



c. Tahap pemisahan asam asetilsalisilat dengan kalsium asetat

Keluaran reaktor berupa pasta padatan yang telah didinginkan lalu diumpankan menuju mixer (M-212) untuk melarutkan kalsium asetat. Kemudian larutan dipompa menuju rotary drum vacuum filter (H-310) untuk memisahkan cake dengan filtrat serta memisahkan asam asetilsalisilat dengan produk samping. Lalu *cake* yang mengandung kadar air diumpankan menuju centrifuge (H-320) untuk memisahkan fase liquid berdasarkan densitas serta memisahkan asam asetilsalisilat dengan zat pengotor tersisa. Padatan asam asetilsalisilat diumpankan menuju rotary dryer (B-330) untuk mengurangi kadar air mencapai +/- 0,1%.

Filtrat yang dihasilkan dari rotary drum vacuum filter (H-310) dan centrifuge (H-320) dipompa menuju evaporator (V-350) untuk mengurangi kadar air pada larutan dengan efisiensi evap sebesar 85%. Air yang menguap pada evaporator akan di embunkan melalui kondensor (E-351). Kemudian luaran evaporator berupa cake diumpankan

centrifuge (H-352) untuk memisahkan fase liquid dengan padatan. Dan cake yang masih tercampur dengan liquid akan tersirkulasi kembali ke evaporator. Padatan kalsium asetat luaran centrifuge (H-352) akan menuju ball mill (C-360) untuk menghaluskan kalsium asetat sebesar 100 mesh. Selanjutnya akan mengalami penyeragaman ukuran padatan pada screen (H-361) sedangkan untuk ukuran yang tidak sesuai akan dikembalikan kedalam ball mill. Produk padatan yang telah di seragamkan akan diangkut dan di simpan pada silo penyimpanan (F-420).

d. Tahap pengeringan dan pengepakan

Padatan asam asetilsalisilat luaran rotary dryer akan menuju cyclone untuk memisahkan udara, uap air dan padatan asam asetilsalisilat. Pengeringan dilakukan disuhu 90-100 C oleh udara dari rotary dryer menggunakan blower (G-331) melewati air filter (H-332) dan dipanaskan dengan heater udara (E-333) menggunakan steam sebagai media pemanasnya. Kemudian luaran rotary dryer dan cyclone berupa padatan akan di umpankan ke ball mill (C-340) untuk menghaluskan asam asetilsalisilat menjadi 100 mesh. Selanjutnya akan mengalami penyeragaman ukuran padatan pada screen (H-341) sedangkan untuk ukuran yang tidak sesuai akan dikembalikan kedalam ball mill. Produk padatan yang telah di seragamkan akan diangkut dan di simpan pada silo penyimpanan (F-410).

3. Utilitas

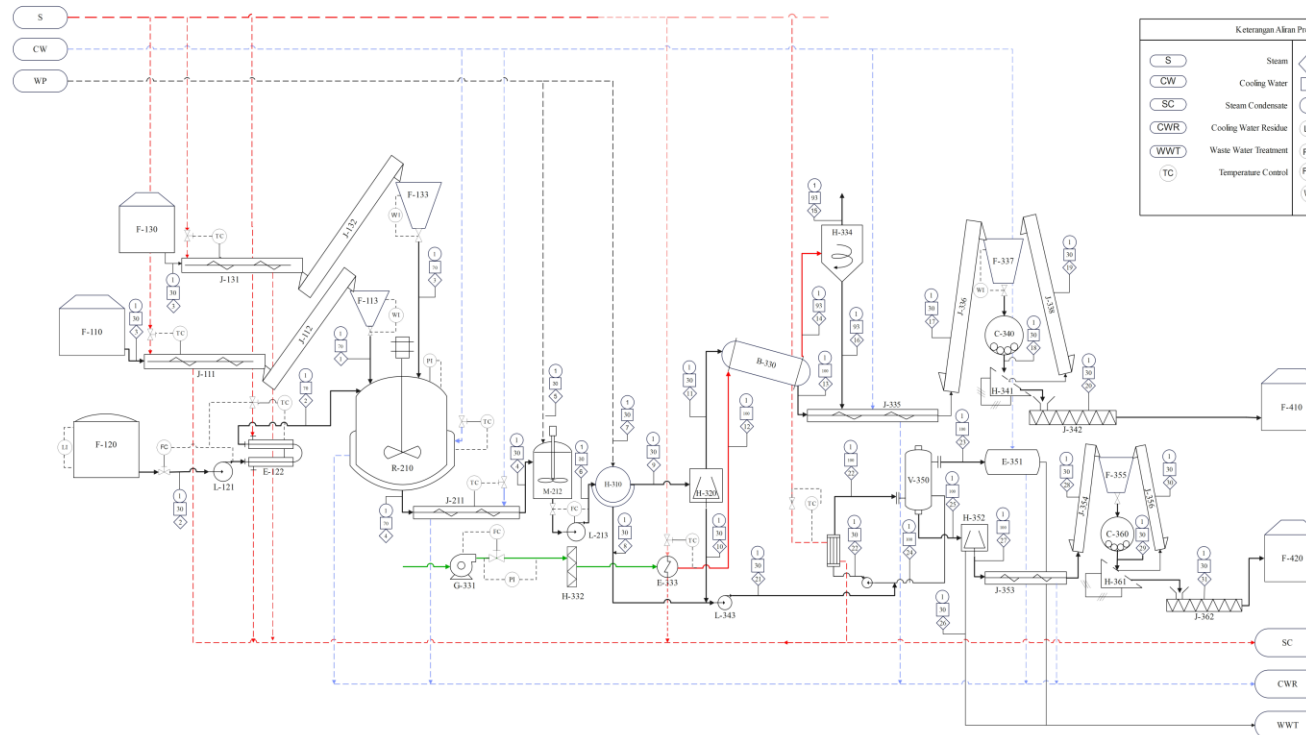
Utilitas sangat berperan penting dalam menunjang proses produksi. Air yang digunakan diperoleh dari sungai Cikadu yang terletak di seberang pabrik, kebutuhan air digunakan untuk umpan air boiler, air pendingin, air proses, serta air sanitasi. Diesel Oil digunakan sebagai bahan bakar boiler dan generator set diperoleh dari PT. Adrien Suma Jaya, Adapun limbah cair dan gas akan diolah dan limbah padat akan dikirimkan ke TPS dan limbah B3 dikirim ke PT. Multi Hanna Kresindo Tbk. Berikut adalah kebutuhan utilitas dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3 Kebutuhan Utilitas

Kebutuhan	Jumlah
Steam	77,72 kg/jam
Air	2102 kg/jam
Listrik	87,5 kWh
Bahan bakar	10,7 L/jam



No	Kode Alat	Nama Alat
1	F-110	Gudang Asam Sulfat
2	J-111	Heating Screw Conveyor
3	J-112	Bucket Elevator
4	F-113	Hopper Asam Sulfat
5	F-120	Tangki Asam Asetat
6	L-121	Pompa Asam Asetat
7	E-122	Heater Asam Asetat
8	F-130	Gudang Kahium Oksida
9	J-131	Heat Screw Conveyor
10	J-132	Bucket Elevator
11	F-133	Hopper Kahium Oksida
12	R-210	Reaktor
13	J-211	Cooling Conveyor
14	M-212	Mixer
15	L-213	Pompa Mixer
16	H-310	Rotary Drum Vacuum Filter
17	H-320	Centrifuge Asam Asetat/alkali
18	H-330	Rotary Dryer
19	G-331	Blower
20	H-332	Filter Udara
21	E-333	Heater Udara
22	H-334	Cyclone
23	J-335	Cooling Conveyor
24	J-336	Bucket Elevator
25	F-337	Hopper Asam Asetat/alkali
26	C-340	Ball Mill
27	J-338	Bucket Elevator
28	H-341	Screener Asam Asetat/alkali
29	J-342	Belh Conveyor
30	F-410	Gudang Asam Asetat/alkali
31	L-343	Pompa
32	N-350	Forced Circulation Evaporator
33	E-351	Kondensor
34	H-352	Centrifuge Kahium Asetat
35	J-353	Cooling Conveyor
36	J-354	Bucket Elevator
37	F-355	Hopper Kahium Asetat
38	C-360	Ball Mill
39	J-356	Bucket Elevator
40	H-361	Screener Kahium Asetat
41	J-362	Belh Conveyor
42	F-420	Gudang Kahium Asetat



Komponen	Atrian (kg/jam)																																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
C7H8O3(s)	176,213			3,5243			2,9428			2,9428		2,9428		2,9145	0,0294	0,0003	0,0291	2,9438	3,6795	0,7159	2,9436								0,0115	0,0115	0,0144	0,0029	0,01
C7H8O3(l)						0,5815		0,4652	0,1163	0,1151	0,0012											0,5803	0,6383		0,0638	0,5745	0,563						
C4H8O3(s)		130,246																															
C2H2O2(l)		0,6512			2,1835	2,1835	1,7468	0,4367	0,4323	0,0044			0,0044				0,0044	0,0055	0,0011	0,0044	2,1791	2,3970			0,2397	2,1573	2,1142	0,0431	0,0431	0,0539	0,0108	0,04	
Ca(Os)			35,7669																														
C9H8O4(s)				223,250	223,913			223,913		223,913			221,676	2,2392	0,0224	2,2168	223,893	279,866	55,9733	223,803									0,0264	0,0264	0,033	0,0866	0,02
C9H8O4(l)					1,3374		1,07	0,2675	0,2648	0,0027												1,3348	1,4683		0,1468	1,3214	1,295						
CaC4H6O4(s)				100,889										0,1998	0,002		0,002	0,2018	0,2522	0,0504	0,2018				10,0493	11,0558	99,5023		99,5059	99,5059	124,382	24,8765	99,50
CaC4H6O4(l)						100,889		80,712	20,178	19,976	0,2018											100,688	100,708					0,0199	0,1789	0,1753			
H2O(aq)	0,8855			11,9145	278,834	290,749	62,2597	282,41	70,6017	69,8957	0,7060		0,225	0,481	0,4762	0,0048	0,2298	0,2873	0,0575	0,2298	352,303	357,587	303,949	5,3638	48,2743	47,3088	0,9655	0,9655	1,2069	0,2414	0,96		
Udara												330,93		330,93	330,93																		
Total	177,098	130,897	35,7669	343,762	278,834	622,597	62,2597	366,400	318,456	90,6841	277,732	330,93	225,020	333,682	331,429	2,2527	227,273	284,091	56,8182	227,273	457,085	472,848	303,949	16,8890	152,009	51,4563	100,552	100,552	125,690	25,1382	100,5		

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM PRA RANCANGAN
PABRIK ASAM ASETIL SALISILAT DARI ASAM SALISILAT, ASETAT
ANHIDRAT, DAN KALSIMUM OKSIDA DENGAN PROSES ASETILASI
KAPASITAS 1.800 TON/TAHUN

Disusun Oleh :
 Sacajawea
 201910401092
 M. Nizar
 201910401106
 Ahmad
 201910401110

Dosen Pembimbing Utama
Helda Wika Amini, S.Si., M.Si., M.Sc
NRP. 199204082024062001

Dosen Pembimbing Anggota :
Ir. Boy Arief Fachri H, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 197409011999031002



PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2024

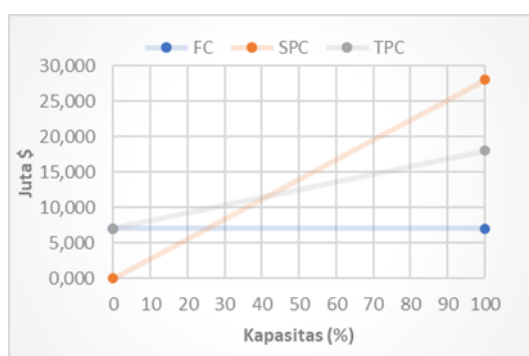
Gambar 1. *Flow Diagram Process* Pabrik Asam Asetil Salisilat

4. Analisis Ekonomi

Evaluasi ekonomi dilakukan untuk melihat keuntungan dan kelayakan sebuah pabrik. Pada tabel 4 berikut merupakan parameter evaluasi pabrik asam asetilsalisilat :

Tabel 4. Hasil Evaluasi Ekonomi

Parameter	Hasil	Syarat
POT	3 Tahun	$\frac{1}{2}$ umur pabrik (5 tahun)
NPOTLP	1.223.263.658.154	NPOTLP > TCI + Bunga
ROR	32%	ROR > bunga
BEP	42%	40 – 50 %



Gambar 2. BEP dan SDP Pabrik Asam Asetil Salisilat Kapasitas 1.800 Ton/Tahun

5. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan diatas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pabrik asam asetilsalisilat didirikan di kawasan industri MM 2100 Kelurahan Sukasejati, Kecamatan Cikarang Selatan, Kabupaten Bekasi dengan luas tanah sebesar 17.597 m²
2. Pabrik direncanakan dengan badan hukum Perseroan Terbatas (PT) dengan total karyawan 98 orang
3. Pabrik direncanakan beroperasi secara kontinu selama 330 hari dalam satu tahun dengan kapasitas produksi 1.800 ton/tahun
4. Evaluasi ekonomi diperoleh nilai BEP sebesar 42% dapat disimpulkan bahwa pabrik asam asetilsalisilat layak didirikan.

Daftar Pustaka

- I. (2022). Top 10 Perusahaan Farmasi Terbesar Indonesia Terbaru.

Badan Pusat Statistik. (2024). Retrieved from Ekspor Asam asetilsalisilat: <https://www.bps.go.id/exim>

Badan Pusat Statistik. (2024). Retrieved from Impor Asam asetilsalisilat: <https://www.bps.go.id/exim>

Couper, J. R. (2005). *Chemical process equipment: selection and design*. Gulf professional publishing.

Geankoplis, C. (2003). *Transport processes and separation process principles (includes unit operations)*. Prentice Hall Press.

Handal Vega, A. P. (2001). *United States Patent No. 6,278,014 B1*.

Himmelblau, D. M. 1996. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*. London : Prentice Hall International.

Kementerian Investasi/BKPM. (2021). Retrieved from Potensi Menjanjikan di Industri Farmasi dan Kesehatan Indonesia: <https://oss.go.id/informasi/artikel/potensi-menjanjikan-di-industri-farmasi-dan-kesehatan-indonesia>

Kementerian Koordinator bidang Perekonomian. (2021). Retrieved from Pemerintah dukung Percepatan pengembangan Industri Farmasi untuk wujudkan kemandirian dan tingkatkan daya saing : <https://www.ekon.go.id/publikasi/detail/3096/pemerintah-dukung-percepatan-pengembangan-industri-farmasi-untuk-wujudkan-kemandirian-dan-tingkatkan-daya-saing>

Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. Japan: Mc Graw Hill Book Company

Patrono C, B. C. (2019). Role of aspirin in primary prevention of cardiovascular disease. *Nat Rev Cardiol*, 675-686.

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.

PT. Bayer Indonesia Kemenperin. (2017). Retrieved from Kapasitas Produksi Aspirin : <https://tkdn.kemenperin.go.id/kapasitas.php?id=xbyIs7euxN86XS-7d7peTBfMPMj0vBHlbrkOEoMB7L8,&pu>





b=PuWof_o9nUINBBU7L3RZKVmOM-
YJ--
m5LkXIzPEolvY,&nama=oY67VXE6DE4
Myv1aWta70ZGbQr-
bk8GJhxS0emH1YSs,

than 54,000 organic and inorganic chemical
compounds, Coverage for C1 to C100
Organics and Ac to Zr Inorganics. Gulf
Professional Publishing.

Raksh Vir Jasra, B. T. (2009). *United States Patent No. 2009/0082592 A1*.

Rimantho, D., & Athiyah, A. (2019). Analisis Kapabilitas Proses Untuk Pengendalian Kualitas Air Limbah Di Industri Farmasi. *Jurnal Teknologi*, 11(1), 1-8.

Schrör, K. (2016). *Acetylsalicylic acid*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Stylianou, N. M. (2023). Aspirin Production-Process Modeling and Techno-Economic Assessment (TEA). 1-30.

Sinnott, R., Richardson, J. F., & Coulson, J. M. (2013). *Chemical engineering: An introduction to chemical engineering design*. Elsevier.

Smith, J. M. (1950). *Introduction to chemical engineering thermodynamics*.

Towler, G., & Sinnott, R. (2021). *Chemical engineering design: principles, practice and economics of plant and process design*. Butterworth-Heinemann.

ULRICH, G. D. (1997). 1. GD Ulrich, A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics, Wiley, New York, 1984, pp. 330–334. *Encyclopedia of Chemical Processing and Design: Volume 60-Uranium Mill Tailing Reclamation in the US and Canada to Vacuum System Design*, 194.

Waje, S. S., Thorat, B. N., & Mujumdar, A. S. (2006). An experimental study of the thermal performance of a screw conveyor dryer. *Drying technology*, 24(3), 293-301.

Waje, S. S., Thorat, B. N., & Mujumdar, A. S. (2007). Screw conveyor dryer: Process and equipment design. *Drying Technology*, 25(1), 241-247.

Wesley C. Stoesser & William R. Surine, M. M. (1961). *United States Patent No. 2,987,539*.

Yaws, C. L. (2015). *The yaws handbook of physical properties for hydrocarbons and chemicals: physical properties for more*

