



PRARANCANGAN PABRIK SORBITOL KAPASITAS 25.000 TON/TAHUN MENGGUNAKAN PROSES HIDROGENASI INULIN

Matthew Maximilian Telussa, Nabila Fasya Nurlaila, Sinta Dewi, Boy Arief Fachri, Istiqomah Rahmawati

S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Jl. Kalimantan Tegalboto No. 37, Krajan Timur, Kecamatan Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur 68121

Email : matthewtelussa@gmail.com

Abstrak

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan bahan kimia untuk perkembangan teknologi yang pesat, maka pengembangan industri kimia perlu diprioritaskan. Salah satu bahan kimia yang paling banyak digunakan di industri kimia adalah sorbitol. Sorbitol yang digunakan di Indonesia masih dipenuhi dengan cara impor, banyak sorbitol yang diimpor pada tahun 2021 mencapai nilai 2.394,76 ton. Terdapat 2 proses produksi sorbitol dari fruktosa yaitu proses fermentasi dan proses hidrogenasi, proses yang terpilih adalah proses hidrogenasi fruktosa ($C_6H_{12}O_6$) dengan bahan baku inulin ($C_{6n}H_{10n+2}O_{5n+1}$). Pabrik ini dirancang dengan kapasitas produksi sebesar 25.000 ton/tahun. Pabrik beroperasi selama 330 hari/tahun, dan membutuhkan bahan baku inulin 5.919,63 ton/tahun serta hidrogen 64.379,85 ton/tahun. Produksi sorbitol terbagi menjadi 5 tahapan yaitu penyimpanan bahan baku, pencampuran bahan baku, hidrogenasi, permunian produk, serta kristalisasi dan storage. Pabrik akan didirikan dan beroperasi pada tahun 2025 di Kota Cilegon, Provinsi Banten. Berdasarkan evaluasi analisis ekonomi, dapat disimpulkan bahwa pabrik sorbitol dari bahan baku inulin berkapasitas produksi 25.000 ton/tahun layak didirikan dengan rincian Pay Out Time (POT) 3,54 tahun, Rate of Return (ROR) 33%, serta Break Even Point (BEP) sebesar 45%.

Kata Kunci: Sorbitol, Inulin, Proses Hidrogenasi

1. Pendahuluan

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan bahan kimia untuk perkembangan teknologi yang pesat, maka pengembangan industri kimia perlu diprioritaskan. Salah satu bahan kimia yang paling banyak digunakan di industri kimia adalah sorbitol. Sorbitol adalah senyawa organik yang memiliki rumus molekul $C_6H_{14}O_6$ atau $C_6H_8(OH)_6$, dan nama lainnya adalah D-glucitol. Sorbitol secara alami hadir dalam buah-buahan seperti apel, pir dan beri (kecuali anggur).

Sorbitol terbentuk dari reaksi hidrogenasi glukosa. Dalam fase cair sorbitol tidak berwarna, tidak berbau dan larut dalam air. Sorbitol mempunyai kegunaan yang cukup luas, khususnya dalam industri kimia, farmasi, kosmetik, makanan dan minuman. Peran sorbitol di industri makanan sering digunakan sebagai pemanis pengganti glukosa bagi penderita penyakit diabetes. Peran sorbitol di industri kosmetik dan kimia digunakan sebagai bahan produksi krim, salep, dan pada pasta gigi. Peran sorbitol di industri farmasi yakni bubuk sorbitol digunakan sebagai pengisi tablet, dan sebagai *plasticizer* kapsul gelatin (Sonifa, 2017).

Sorbitol adalah gula alkohol yang kurang dikenal sebagai glusitol. Sorbitol biasanya digunakan untuk penderita penyakit diabetes, karena sorbitol memetabolisme tubuh kita secara perlahan. Selain itu, sorbitol mengandung jumlah kalori yang lebih sedikit yang baik untuk orang yang menurunkan berat badan. Sorbitol mengacu pada senyawa kristal rasa manis yang

ditemukan di beberapa buah. Sorbitol memiliki jumlah kalori yaitu 2,6 kalori per gram.

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan sorbitol yakni inulin. Inulin adalah polimer dari unit-unit fruktosa dengan gugus terminal glukosa. Unit-unit fruktosa dalam inulin dihubungkan oleh ikatan β ($2\alpha E1$) glikosidik. Inulin dari tanaman biasanya mengandung 20 sampai beberapa ribu unit fruktosa. Molekul yang lebih kecil dari inulin disebut fruktooligosakarida (FOS), yang mengandung 2 molekul fruktosa dan 1 molekul glukosa (Roberfroid, 2005). Kebutuhan inulin di Indonesia semakin meningkat namun berbanding terbalik dengan ketersediaan inulin di Indonesia yang masih sedikit sehingga masih mengimpor dari negara lain namun inulin dapat didapatkan dari bahan baku lokal seperti ubi jalar dengan berbagai varietas yaitu ubi jalar putih, ubi jalar kuning, dan ubi jalar ungu. Adapun pabrik inulin di Indonesia dapat dipasok dari PT. Graha Dwi Mandiri. Pra perancangan pabrik ini menggunakan bahan baku inulin yang sudah jadi karena dapat mengefisiensi biaya dan proses produksi.

Alasan mengapa mendirikan pabrik sorbitol selain pabrik sorbitol sedikit di Indonesia. Sorbitol yang dibutuhkan dari tahun ke tahun semakin meningkat, jumlah pesanan pasar dalam negeri maupun luar negeri semakin banyak. Karena sorbitol dan manitol adalah bahan yang cukup efektif digunakan dalam industri medis maupun untuk di konsumsi untuk penderita diabetes. Rata-rata di Indonesia kebanyakan sorbitol di impor, maka dari itu alasan yang cukup untuk



membangun pabrik sorbitol di Indonesia. Pabrik yang dibangun adalah pabrik sorbitol dengan proses hidrogenasi dengan bahan baku inulin. Pemilihan bahan baku inulin dipilih karena inulin merupakan sumber bahan baku yang menjanjikan karena termasuk bahan senyawa biomassa turunan dari alam yang bisa diperbarui sewaktu-waktu.

Pembuatan pabrik ini tidak hanya menghasilkan sorbitol tetapi juga memiliki keunggulan dalam menghasilkan produk samping. Produk samping dari pabrik ini adalah Manitol. Sorbitol dan manitol nantinya akan dipisahkan menggunakan mesin separator yakni dekanter. Manitol merupakan jenis alkohol gula yang biasanya digunakan untuk pemanis atau obat-obatan medis. Manitol berguna secara klinis digunakan untuk diuretik dan zat terlarut ekstraseluler. Diuretik adalah obat yang berfungsi untuk mengeluarkan kadar garam dan air yang berlebihan pada tubuh. Pemanis yang terdapat di dalam manitol digunakan untuk makanan pasien yang menderita diabetes, karena pemanis tersebut sangat kurang diserap oleh usus. Selain itu pasien dengan kondisi edema atau disebut diuretik yang tidak dapat diatasi dapat menggunakan manitol. Karena manitol juga berguna untuk meningkatkan aliran *urine* dan membuang kotoran pada ginjal. Menurut medis, manitol diberikan dengan cara diinjeksikan. Diuretik osmotik adalah salah satu jenis pengobatan yang membutuhkan manitol karena termasuk keluarga obat-obatan dengan cara kerja menarik cairan dari otak ke mata. Manitol belum ditelusuri lebih lanjut tentang penggunaannya untuk *diuretic osmotic* di tempat dekstroza dalam dialisis peritoneal. Dialisis peritoneal adalah salah satu tindakan medis yang digunakan untuk mencuci darah lewat perut (Priyadi, 2012). Hal tersebut yang menjadi dasar penulis dalam memilih ide untuk merancang pabrik sorbitol dengan bahan baku inulin.

2. Pemilihan dan Uraian Proses

Proses pembuatan sorbitol tergantung pada proses yang digunakan, untuk proses yang menggunakan fruktosa terdapat 2 cara produksi yaitu proses fermentasi dan proses hidrogenasi.

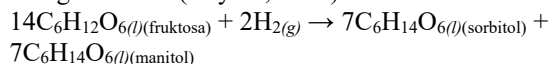
A. Proses Fermentasi

Penggunaan bakteri *zymomonas mobilis* untuk menghasilkan sorbitol dari fruktosa merupakan salah satu cara alternatif yang dapat dipilih untuk menghasilkan sorbitol. Proses pembentukan sorbitol dengan fermentasi menggunakan bakteri *zymomonas mobilis* yang akan mereduksi dekstroza menjadi asam glukonat dan fruktosa menjadi sorbitol sesuai dengan siklus Entner Doudoroff. Proses ini akan menghasilkan produk samping berupa asam glukonat (Utomo, 2019).

B. Proses Hidrogenasi

Pada proses ini fruktosa dihidrogenasi secara katalitik. Proses dimulai dengan mereaksikan fruktosa

dengan gas hidrogen bertekanan tinggi. Proses ini menggunakan katalis raney nikel dalam reaktor untuk meningkatkan kontak dan mempercepat reaksi hidrogenasi. Proses ini juga menghasilkan produk samping berupa manitol, reaksi yang terjadi dapat dilihat sebagai berikut (Priyadi, 2012).



C. Seleksi Proses

Setelah mempertimbangkan kedua proses tersebut, kami memilih menggunakan metode hidrogenasi dengan pertimbangan:

1. Proses hidrogenasi merupakan proses efisien yang dipakai oleh pabrik sorbitol umumnya dan lebih sederhana.
2. Produk samping berupa manitol yang dapat menunjang ekonomi pabrik.
3. Efisiensi *cost* mesin karena proses permunian lebih sedikit, sehingga memerlukan mesin lebih sedikit.

Tabel 1. Perbandingan seleksi proses

No.	Parameter	Proses	
		Hidrogenasi	Fermentasi
1.	Bahan Baku	Fruktosa	Fruktosa
2.	Konversi Reaksi	50%	95%
3.	Waktu Proses	Waktu yang diperlukan untuk mendapatkan produk cepat.	Diperlukan waktu yang lama untuk proses fermentasi.
4.	Kualitas Produk	Hasil reaksi membentuk manitol yang dapat dijual.	Sorbitol yang terbentuk masih mengandung asam yang akan merusak kualitas sorbitol
5.	Segi Ekonomi	- Bahan tambahan seperti gas hidrogen dan katalis raney nikel mudah dijangkau sehingga lebih murah. - Efisiensi <i>cost</i> mesin karena proses lebih sedikit yang akan berpengaruh dalam segi ekonomi	Pemisahan menggunakan membran yang harganya mahal.



D. Uraian Proses Terpilih

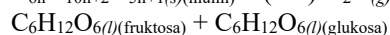
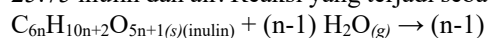
Produksi sorbitol secara hidrogenasi fruktosa membutuhkan bahan baku sebagai sumber fruktosa, dan bahan baku yang digunakan dalam pabrik adalah inulin. Tahapan dalam produksi sorbitol terbagi menjadi 5 tahap yaitu sebagai berikut:

1. Tahap Penyimpanan Bahan Baku

Inulin termasuk kelompok polisakarida alami dari karbohidrat yang tersusun dari gabungan monosakarida fruktosa dan glukosa dengan struktur kimia $C_6H_{10n+2}O_{5n+1}$. Inulin yang digunakan merupakan inulin dari akar chicory yang umumnya memiliki monomer sebanyak 15, serta memiliki perbandingan fruktosa dan glukosa sebesar 20:1. Karbohidrat yang terkandung dalam inulin disebut dengan fruktosa. Inulin merupakan serbuk berwarna putih yang sudah larut dalam air. Inulin disimpan di gudang penyimpanan tertutup (F-110) dengan suhu 30 °C dan tekanan 1 atm. Hidrogenasi fruktosa membutuhkan gas hidrogen dalam jumlah yang cukup besar. Gas hidrogen pabrik langsung dipasok dari PT. Air Product Indonesia. Gas hidrogen disimpan dalam tangki (F-120) dengan suhu 30°C dan tekanan 1 atm.

2. Tahap Pencampuran Bahan Baku

Inulin dari gudang penyimpanan (F-110) dipindahkan melalui *conveyor belt* (J-111) menuju *mixer* (M-130). Air dari tangki penyimpanan juga dialirkan ke *mixer* (M-130) melalui pompa sentrifugal (L-112). Di dalam *mixer* (M-130) terjadi reaksi hidrolisis antara inulin dan air, untuk menghasilkan larutan fruktosa dan glukosa. Hidrolisis terjadi pada kondisi operasi bertekanan 1 atm dengan suhu ruangan (30 °C). Rasio yang digunakan dalam proses hidrolisis yaitu sebesar 25:75 inulin dan air. Reaksi yang terjadi sebagai berikut.



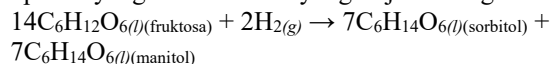
Hidrolisis pada pabrik tidak menggunakan katalis asam (seperti asam trikloroasetat (TCA)) karena dapat menghasilkan *5-hydroxymethylfurfural* (HMF). Katalis asam pada proses hidrolisis dapat bereaksi dengan fruktosa yang terbentuk untuk menghasilkan HMF, serta HMF akan bereaksi dengan air untuk membentuk *levulinic acid* dan *formic acid*. Asam yang dihasilkan dari HMF dapat bertindak sebagai katalis untuk reaksi HMF sebelumnya, sehingga terjadinya efek *autocatalytic* pada larutan. Penggunaan katalis asam akan menurunkan kualitas dan kuantitas fruktosa yang diinginkan, maka reaksi hidrolisis inulin tidak menggunakan katalis asam.

Larutan fruktosa dan glukosa dari *mixer* (M-130) dialirkan ke *centrifugal compressor* (G-131) untuk menaikkan tekanan larutan menjadi 60 atm. Berikutnya, larutan fruktosa dan glukosa akan mengalir ke *heater* (E-132). *Heater* (E-132) digunakan untuk menaikkan suhu

larutan fruktosa dan glukosa dari 30 °C menjadi 130 °C menggunakan panas *steam*. Selanjutnya larutan fruktosa dan glukosa dialurkan ke *fixed-bed reactor* (R-210) dengan *centrifugal compressor* (G-131).

3. Tahap Hidrogenasi

Hidrogen akan disuplai dari tangki penyimpanan hidrogen (F-120), yang pertama menuju *centrifugal compressor* (G-121) untuk menaikkan tekanan dari 1 atm menjadi 60 atm. Hidrogen lalu dikirim ke *heater* (E-122) untuk menaikkan suhu dari 30 °C menjadi 130 °C yang kemudian diteruskan ke *fixed-bed reactor* (R-210). Berdasarkan paten US4322569, hidrogenasi terjadi di *fixed-bed reactor* (R-210) dengan kondisi operasi 130 °C dan 60 atm, dalam tahap ini larutan fruktosa akan direaksikan dengan hidrogen untuk membentuk sorbitol dan manitol. Glukosa yang ada pada feed juga bereaksi dengan hidrogen membentuk sorbitol pada kondisi operasi yang sama. Reaksi yang terjadi sebagai berikut.



Reaksi berlangsung menggunakan katalis raney-nikel sebesar 1% dari total input feed serta memiliki rasio konversi sebesar 99,6%. Berdasarkan paten US4322569, perbandingan hidrogen yang digunakan dalam reaksi hidrogenasi adalah sebanyak 1:1000. Hasil dari hidrogenasi fruktosa adalah sorbitol dan manitol, sedangkan hidrogenasi glukosa menghasilkan sorbitol.

4. Tahap Pemurnian Produk

Larutan hasil reaktor akan dialirkan ke *ekspander* (G-211) untuk menurunkan tekanan dari 60 atm menjadi 1 atm. Larutan kemudian dikirim ke *cooler* (E-212) untuk menurunkan suhu dari 130 °C menjadi 30 °C dan mengubah H₂O kembali menjadi cair. Larutan produk akhirnya akan sampai di *gas boot* (H-220), dimana akan terjadinya pemisahan gas hidrogen sisa hidrogenasi dengan larutan sorbitol dan manitol. *Gas boot* (H-220) memiliki kondisi operasi 1 atm dengan suhu 30 °C, gas hidrogen akan diteruskan ke arus hidrogen *return*, sedangkan sorbitol dan manitol akan diteruskan ke *evaporator* (V-230) melalui pompa sentrifugal (L-221).

Evaporator (V-260) berfungsi untuk mengurangi banyak H₂O dari larutan produk sebesar 85%. *Evaporator* (V-230) memiliki kondisi operasi 1 atm dan bersuhu 103 °C, penguapan bertujuan untuk mengkonsentrasikan larutan sorbitol dan manitol sehingga lebih murni. H₂O yang terpisah akan diteruskan menuju *water return*, sedangkan larutan produk diteruskan ke *crystallizer* (S-310).

5. Tahap Kristalisasi dan Storage

Larutan produk diumpankan ke *cooler* (E-232) terlebih dahulu dengan pompa sentrifugal (L-231). *Cooler* (E-232) berfungsi untuk menurunkan suhu larutan produk dari 103 °C menjadi 30 °C. *Crystallizer*



(S-310) bertujuan untuk mengkristalisasi manitol, sehingga sorbitol dan manitol dapat dipisahkan. Metode yang digunakan untuk memisahkan sorbitol dan manitol adalah metode kristalisasi fraksional. Kristalisasi fraksional merupakan metode untuk memisahkan dua atau lebih komponen yang memiliki kelarutan berbeda dalam pelarut yang sama.

Larutan campuran sorbitol dan kristal manitol dikirim ke *decanter* (H-320) dengan pompa sentrifugal (L-311). *Decanter* (H-320) digunakan untuk memisahkan kristal manitol dari larutan sorbitol. Larutan sorbitol akan dikirim ke tangki penyimpanan (F-340) melalui pompa sentrifugal (L-322), sedangkan manitol akan dikirim ke tangki penyimpanan (F-330) dengan *conveyor belt* (J-321).

3. Neraca Massa dan Neraca Energi

A. Neraca Massa

Perancangan pabrik sorbitol dengan proses hidrogenasi kapasitas produksi 25.000 ton/tahun membutuhkan bahan baku inulin sebesar 5.919,63 ton/tahun serta hidrogen sebanyak 64.379,85 ton/tahun dengan lama operasi pabrik 330 hari/tahun.

B. Neraca Energi

Perancangan pabrik sorbitol dengan proses hidrogenasi kapasitas produksi 25.000 ton/tahun membutuhkan air pendingin sebesar 1.388.252,82 kg/jam, air umpan *boiler* sebesar 22.990,53 kg/jam, dan listrik sebesar 648,09 kWh.

4. Evaluasi Ekonomi

Hasil dari analisa ekonomi pabrik sorbitol dengan kapasitas produksi 25.000 ton/tahun yang telah diperhitungkan, pabrik membutuhkan biaya produksi sebesar US\$ 8,717,410 dengan *Total Capital Investment* sebesar US\$ 5,333,322. Modal didapatkan dari pinjaman bank. Keuntungan rata-rata yang didapatkan per tahun sebesar US\$ 2,178,510. Perancangan pabrik sorbitol memiliki *Pay Out Time* (POT) selama 3,54 tahun, *Rate of Return* (ROR) sebesar 33%, serta *Break Even Point* (BEP) sebanyak 45%.

5. Kesimpulan

Pabrik pembuatan sorbitol berkapasitas produksi 25.000 ton/tahun dengan proses hidrogenasi fruktosa membutuhkan bahan baku inulin sebesar 5.919,63 ton/tahun serta hidrogen sebanyak 64.379,85 ton/tahun. Jumlah karyawan yang dibutuhkan sebanyak 177 orang. Rancangan pabrik sorbitol memiliki *Pay Out Time* (POT) selama 3,54 tahun, *Rate of Return* (ROR) sebesar 33%, serta *Break Even Point* (BEP) sebanyak 45%. Pabrik sorbitol akan didirikan di Kota Cilegon, Provinsi Banten dengan luas lahan 10.000 m².

Daftar Pustaka

- Azad Khan, A. K., Johnston, H. H., & Truelove, S. C. (1975). Proceedings: Bacterial breakdown of sulphasalazine (salazopyrin). *Food Technol. Biotechnol.*, 16(10).
- Badan Pusat Statistik Provinsi Banten. (2020). Keadaan Ketenagakerjaan Banten Februari 2020. *Berita Resmi Statistik*, No.30/05/36/Th. XIV, 5 mei 2020, 12.
- Cayman. 2014. *Material Safety Data Sheet Inulin*.
- Cook, M. (1998). The leblanc soda process: A gothic tale for freshman engineers. *Chemical Engineering Education*, 32(2), 132–137.
- Ahmed, M. J., & Hameed, B. H. (2019). Hydrogenation of glucose and fructose into hexitols over heterogeneous catalysts: A review. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 96.
- Eckert, M, Fleischmann, G, Jira, R, Bolt, H.M, Golka, K. (2012). *Ullmann's Encyclopedia of Indonesia Chemistry: Acetaldehyde*, vol 1.
- European Patent Office. (2018). *EUROPEAN PATENT APPLICATION*. 1(19), 1–16.
- European Soda Ash Producers Association. (2004). *Process BREF for Soda Ash*. March.
- Fitra, S. (2021). *Petrokimia Gresik Bangun Pabrik Soda Ash Pertama di Indonesia Rp 4,5T*. Katadata.Co.Id.
- Fernandes, P. (2010). Fructose Syrup: A Biotechnology Asset Danyo. *Food Technol. Biotechnol. Institute of Botany, Brazil*.
- Fitrania, F., Rukmi, M. I., & Wijanarka. (2018). PRODUKSI INULINASE DARI UMBI DAHLIA (*Dahlia variabilis*) OLEH DAN KONSENTRASI GLUKOSA SEBAGAI SUMBER KARBON TAMBAHAN Fathika Fitrania, MG Isworo Rukmi dan Wijanarka. *Jurnal Biologi*, 7(1).
- Helanto, M., Aarnikunnas, J., Von Weymarn, N., Airaksinen, U., Palva, A., & Leisola, M. (2005). Improved mannitol production by a random mutant of *Leuconostoc pseudomesenteroides*. *Journal of Biotechnology*, 116(3).





- Hevi Horiza, S., Azhar, M., Efendi, J., & Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Tanjungpinang, J. (2017). EKSTRAKSI DAN KARAKTERISASI INULIN DARI UMBI DAHLIA (*Dahlia sp.L*) SEGAR DAN DISIMPAN. *Eksakta*, 18(1).
- Hoffer, B. W., Crezee, E., Devred, F., Mooijman, P. R. M., Sloof, W. G., Kooyman, P. J., Van Langeveld, A. D., Kapteijn, F., & Moulijn, J. A. (2003). The role of the active phase of Raney-type Ni catalysts in the selective hydrogenation of D-glucose to D-sorbitol. *Applied Catalysis A: General*, 253(2).
- Jap, J. W., Harmita, & Suryadi, H. (2014). Optimasi Analisis Campuran Manitol, Sorbitol, dan Xylitol Kromatografi Cair Kinerja Tinggi Optimization Analysis of Maltitol, Mannitol, Sorbitol, and Xylitol by High Performance Abstract. *Jurnal Universitas Indonesia*.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2019). *LAPORAN Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV)*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2018). *Investor Didorong Garap Pabrik Soda Abu*. Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.
- Kirk, & Othmer. (1995). Vol 03 Antibiotics to Batteries. In *Encyclopedia of Chemical Technology* (Vol. 3, p. 226).
- Labchem. 2013. *Material Safety Data Sheet Water*.
- M. Makkee, A. P. G. Kieboom and H. van Bekkum, D. (1985). *Production Methods of D-Mannitol*. 37(4). *Netherlands*.
- M. R. Resetarits and M. J. Lockett. (2019). *Encyclopedia of Physical science and Tehnology*. 53(9), 548–550.
- Makkee, M., Kieboom, A. P. G., & van Bekkum, H. (1985). Hydrogenation of d-fructose and d-fructose/d-glucose mixtures. *Carbohydrate Research*, 138(2).
- Maulida, F. (2021). Tugas Akhir Pra Rancangan Pabrik Sorbitol dari Dekstrosa dengan Proses Hidrogenasi Katalitik Menggunakan Trickle Bed Reaktor. *Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur*.
- Mccabe, W. L., & Smith, J. C. (1985). *UNIT OPERATIONS OF CHEMICAL ENGINEERING, 4TH EDITION*. 48–49.
- Mediakaltim.com. (2022). *Pabrik Soda Ash di Bontang Ditargetkan Operasi 2025, Kapasitas Produksi 300 Ribu Ton per Tahun*.
- Mohamad Amien Rais, C. S. M. (2020). Pra Desain Pabrik Sorbitol Dari Tepung Jagung Dengan Proses Hidrogenasi Katalitik. *Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya*.
- Murwindra, R. (2019). OPTIMALISASI EKSTRAKSI INULIN DARI UMBI TANAMAN DAHLIA (*Dahlia SP. L*) MENGGUNAKAN PELARUT ETANOL. *Prosiding SainsTeKes Semnas MIPAKes UMRi*, 1.
- Murwindra, R., Linggawati, A., Yanti, P. H., Awaluddin, A., (2017). Produksi Asam Levulinat dari Inulin Umbi Dahlia (*Dahlia sp. L*) Menggunakan Katalis Asam Klorida. *Jurnal Natur Indonesia*, 16(2).
- NSF References, Standart. 2011. *Material Safety Data Sheet Fruktosa*.
- Nyamiati, R. D., Ramadhani, A., Nurkhamdah, S., & Rahmawati, Y. (2019). Pra-Desain Pabrik Pembuatan Natrium Karbonat (Soda Abu) Dengan Menggunakan Proses Solvay. *Jurnal Teknik ITS*, 8(1).
- Pandangan Jogja. (2021). *Menteri Bahlil Dukung Percepatan Proyek Pabrik Soda Ash untuk Hadang Laju Impor*. Pandangan JOGJA.
- Perry, R. H. (2007). *PERRY's Chemical Engineering Handbook*. *Perrys' Chemical Engineers' Handbook*, 21.
- Priyadi, Y. S. (2012). *Sintesis Manitol Dari Fruktosa Dengan Katalis Raney-Nikel*. *Universitas Indonesia, Jakarta*.
- Purwaningsih, D. I., Lunggani, A. T., & Kusdiyantini, E. (2013). PRODUKSI INULINASE DAN KECEPATAN PERTUMBUHAN SPESIFIK ISOLAT KHAMIR DUCC Y-015 PADA BERBAGAI KONSENTRASI TEPUNG UMBI DAHLIA. *Jurnal Biologi*, 2(3).
- Putri, A. R., & Barrotut, F. T. (2019). PRA RANCANGAN PABRIK SORBITOL DARI GLUKOSA DENGAN PROSES





- HIDROGENASI KATALITIK KAPASITAS 100.000 TON/TAHUN. *KONSENTRASI TEKNIK KIMIA PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA*.
- Rapaille, A., Goosens, J., & Heume, M. (2015). Sugar Alcohols. In *Encyclopedia of Food and Health* (1st ed., Issue 1993). Elsevier Ltd.
- Rima, J. (2019). Natrium Karbonat: Termodinamika dan Transport Ion. *Jurnal FMIPA UNP*, 6(2), 32.
- Ruswandi, Ockatvia, Budhi, Azhar, M. (1996). PENENTUAN KADAR FRUKTOSA HASIL HIDROLISIS INULIN DENGAN DNS SEBAGAI PENGOKSIDASI. *Eksakta*, 19(1).
- Santos, D. (2006). Soda ash. *Mining Engineering*, 58(6), 56–57.
- Sapta, R., & Nova, F. A. (2011). PRODUKSI SIRUP FRUKTOSA DARI INULIN Dahlia pinnata Cav. SECARA HIDROLISIS ASAM. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 11(3).
- Sarkar, P., Ajoy, K., Tortora, G., & Johnson, I. (2022). Sodium Carbonate. *The Fairchild Books Dictionary of Textiles*.
- Scienlab. 2005. *Material Safety Data Sheet Sorbitol*.
- Silveira, M., & Jonas, R. (2002). The biotechnological production of sorbitol. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 59(4–5), 400–408.
- Smartlab. 2017. *Material Safety Data Sheet Trichoacetic Acid*.
- Smartlab. 2021. *Material Safety Data Sheet Hydrogen*.
- Sonifa, R. (2017). PRARANCANGAN PABRIK SORBITOL DENGAN PROSES HIDROGENASI KATALITIK KAPASITAS 55.000 TON/TAHUN. *PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA, December*.
- Stökle, K., Jung, D., & Kruse, A. (2020). Acid-assisted extraction and hydrolysis of inulin from chicory roots to obtain fructose-enriched extracts. *Biomass Conversion and Biorefinery*.
- ThermoFisher. 2021. *Material Safety Data Sheet Mannitol*.
- ThermoFisher. 2010. *Material Safety Data Sheet Raney Nickel Catalyst*.
- Ulrich, G.G., 1984, “A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics“, John Wiley and Sons, New York.
- Utomo, M. Y. A. (2019). REACTOR DESIGN PADA PABRIK SORBITOL MELALUI PROSES HIDROGENASI KATALITIK DENGAN BANTUAN KATALIS NIKEL. *FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG*, 1(1), 89.
- USGS. (2017). *Mineral Commodity Summaries USGS Data*. United States Geological Survey.
- Wagiwalla, K. M., Al-Mutaz, I. S., & El-Dahshan, M. E. (1992). The manufacture of soda ash in the Arabian Gulf. *International Journal of Production Economics*, 27(2), 145–153.
- Widuri, H. (2016). Prarancangan Pabrik High Fructose Syrup dari Tepung Tapioka dengan Proses Enzymatic Kapasitas Produksi 110.000 ton/tahun. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 3(September).
- Wijanarka, W., & Pujiyanto, S. (2008). OPTIMASI PRODUKSI ENZIM INULINASE TERMOSTABILOLEH BAKTERI TERMOFILIK DARI UMBI DAHLIA (*Dahlia variabilis*)*. *Jurnal Sains & Matematika*, 16(2).
- Yoo, M., Han, S. J., & Wee, J. H. (2013). Carbon dioxide capture capacity of sodium hydroxide aqueous solution. *Journal of Environmental Management*, 114(November 2012), 512–519.
- Z.A., A., & N.H.R., A. (2021). Hydrogenation of Glucose into Sorbitol using Ru-based Catalyst : A Short Review. *Malaysian Journal of Catalysis* 5, 1–9.
- Zittan, L. (1981). Enzymatic Hydrolysis of Inulin — An Alternative Way to Fructose Production. *Starch - Stärke*, 33(11).