

ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS PADA DESAIN ALAT REAKTOR LIKUIFIKASI PADA INDUSTRI GULA

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS ON THE DESIGN OF LIQUEFACTION REACTOR OF SUGAR INDUSTRY

Aditya Irfansyah, Sukma Naufal Sudarsono, Erwan Adi Saputro*
Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional 'Veteran' Jawa Timur, Jl.
Rungkut Madya No.1, Gunung Anyar, Kota Surabaya, Jawa Timur 60294, Indonesia

*erwanadi.tk@upnjatim.ac.id

Abstrak

Pada setiap industri kimia, reaktor memegang peranan penting sebagai tempat terjadinya reaksi kimia. Salah satunya adalah reaktor likuifikasi pada industri pembuatan gula. Reaktor likuifikasi merupakan suatu tangki yang didalamnya terjadi proses hidrolisis yang mengubah larutan pati atau karbohidrat untuk dijadikan molekul yang lebih sederhana, seperti golongan desktrin, glukosa dan maltosa menggunakan bantuan enzim α -amilase. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi harga reaktor likuifikasi di masa yang akan datang berdasarkan spesifikasi alat. Penelitian ini dilakukan dengan menentukan spesifikasi alat berdasarkan kapasitas dan menghitung penentuan harga alat menggunakan metode persamaan *least square*, yang nantinya harga tersebut dibandingkan dengan harga di pasaran saat ini. Berdasarkan perhitungan penentuan harga reaktor likuifikasi hasilnya sesuai dengan harga yang ada dipasaran saat ini. Sehingga metode perhitungan ini memadai untuk memprediksi harga reaktor likuifikasi.

Kata kunci: alat, harga, likuifikasi, reaktor, spesifikasi

Abstract

In every chemical industry, reactors play an important role as a place for chemical reactions to occur. One of them is the liquefaction reactor in the sugar manufacturing industry. The liquefaction reactor is a tank in which a hydrolysis process occurs which converts the starch or carbohydrate solution into simple molecules, such as glucose, maltose and dextrin with the help of the α -amylase enzyme. This study aims to predict the price of the liquefaction reactor in the future based on the specifications of the equipment. This research was conducted by determining the specification of the tool based on the capacity and calculating the price of the tool using method of least square equation, which it will be later to compare the price with the price on the market. Based on the calculation of the price determination of the liquefaction reactor, the results are in accordance with the current market price. So that this calculation method is sufficient to predict the price of the liquefaction reactor

Keywords: equipment, liquefaction, price, reactor, specification

Pendahuluan

Gula tebu adalah salah satu dari kebutuhan pokok masyarakat di Indonesia sebagai zat pemanis. Kebutuhan gula tebu di Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya. Penggunaan yang paling besar adalah dari sektor makanan dan minuman. Adapun kekurangan bahan pemanis alam seperti gula tebu mendorong masyarakat untuk mengkonsumsi gula sintesis (buatan) seperti Sorbitol. Bahan pemanis selain gula tebu atau sukrosa perlu dikembangkan untuk mengatasi masalah tersebut. Pemanis lain tersebut adalah gula sintesis dalam bentuk cair maupun kristal. Gula cair dapat dibuat dari hidrolisis bahan yang menggunakan pati, baik dengan metode katalitik asam maupun dengan enzimatis. Bahan yang mengandung pati seperti tepung tapioka, tepung jagung dan tepung beras. Menurut (Triyono, 2008), pembuatan gula cair dengan metode hidrolisis pati secara enzimatis dapat memperoleh hasil rendemen dan mutu gula cair yang lebih tinggi atau memiliki konversi lebih tinggi dibandingkan dengan metode hidrolisis menggunakan senyawa asam. Oleh karena itu, dalam proses hidrolisis enzimatis, salah satu proses penting yang dibutuhkan adalah proses likuifikasi (Sutamihardja et al., 2017). Di Indonesia sangat kaya akan bahan baku dari alam yang mengandung pati atau karbohidrat. Demi mencukupi kebutuhan gula pemanis di Indonesia ini maka untuk pembuatan gula sintesis seperti sorbitol sangat efektif. Berikut ini adalah daftar bahan baku dengan kandungan pati yang melimpah di Indonesia dan dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan gula sintesis seperti sorbitol dan matitol.

Tabel 1. Kandungan Pati dalam Bahan Baku

Komposisi Kimia	Tepung Singkong/Tapioka	Tepung Terigu	Tepung Jagung	Tepung Kentang	Tepung Beras
Karbohidrat/Pati (g)	88,2	77,3	73,7	85,6	80
Protein (g)	1,1	8,9	9,2	0,3	7,0
Lemak (g)	0,5	1,3	3,9	0,1	0,5
Kalori (cal)	363	365	355	347	353

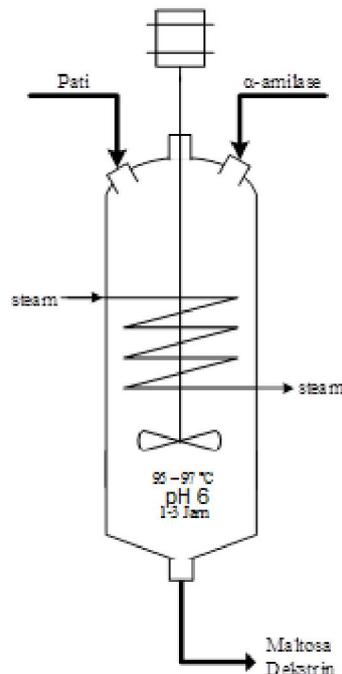
(Direktorat Pangan Departemen Kesehatan Republik Indonesia,

2018)

Likuifikasi adalah suatu proses dalam hidrolisis pati menjadi molekul–molekul yang lebih sederhana seperti maltosa, glukosa dan dekstrin dengan menggunakan batuan enzim α -amilase. Likuifikasi bahan pati umumnya diproses hingga tercapai dekstrosa equivalen sebesar 15-20% atau sampai larutan *shurry* berwarna merah bata apabila direaksikan dengan larutan iodin. Aktivitas dari kemampuan enzim α -amilase menentukan cepat lambatnya dalam proses likuifikasi. Proses ini dilakukan pada kondisi temperatur 105 °C dengan pH = 6 selama 5 menit atau pada temperatur 95–97 °C dengan pH = 6 selama 1–3 jam, dengan penambahan enzim α -amilase secara stabil (Rahmawati & Sutrisno, 2015). Penambahan dosis enzim α -amilase adalah 0,5-0,6 kg per ton pati kering (Santoso, 2010)

Peranan reaktor likuifikasi memegang kunci penting dalam proses pembuatan gula cair. Spesifikasi reaktor likuifikasi secara umum membutuhkan pengaduk, karena saat prosesnya, dua zat yang berbeda fase dicampurkan di dalam reaktor. Fungsi dari pengaduk ialah untuk memudahkan homogenisasi bahan – bahan di dalam reaktor agar dapat bereaksi secara sempurna. Selain itu, dibutuhkan media penjaga suhu operasi, hal ini dibutuhkan agar kondisi operasi tetap terjaga untuk reaksi berjalan secara optimal (Dewi et al., 2014). Reaksi likuifikasi bersifat endotermis karena memiliki nilai ΔH_{reaksi} bernilai positif yang menunjukkan bahwa reaksi menyerap panas sehingga membutuhkan *steam* untuk menstabilkan kondisi suhu operasi dari reaktor likuifikasi. Reaksi pembentukan dekstrin berlangsung dalam fase cair dan bersifat irreversible. Dekstrin terbentuk melalui 2 tahap yaitu gelatinase kemudian likuifikasi. Hidrolisis terjadi di tahap likuifikasi (Ullmann, 2002)

Penelitian ini memiliki tujuan untuk memperkirakan harga alat reaktor likuifikasi di masa yang akan datang didasarkan pada perhitungan spesifikasi alat. Berikut merupakan sketsa dari reaktor likuifikasi berbentuk silinder (vertical) dengan pengaduk dan disertai coil pemanas:

**Gambar 1. Sketsa Reaktor Likuifikasi**

Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perhitungan spesifikasi alat reaktor likuifikasi dan menentukan harga alat reaktor likuifikasi yang dibandingkan dengan harga reaktor likuifikasi yang ada di pasaran

Rumus menghitung spesifikasi Alat Reaktor Likuifikasi:

Langkah – langkah menghitung spesifikasi alat reaktor likuifikasi adalah:

- (1) Menentukan laju alir massa dan panas bahan masuk dan keluar ke reaktor likuifikasi
- (2) Menentukan volume tangki, dengan ketentuan volume larutan mengisi 80% volume tangki total.

Perhitungan meliputi:

- a. Mengasumsi $H = 2D$, lalu menentukan diameter dengan menghitung
 $\text{Volume total} = \text{volume silinder} + \text{volume tutup bawah} + \text{volume tutup atas} \dots\dots\dots (1)$
- b. Volume silinder
 $V_s = (\pi/4) \times D^2 \times H_s \dots\dots\dots (2)$
- c. Volume tutup bawah
 $V_{\text{tutup bawah}} = 0,262 \times H \text{ tutup bawah} (D^2 + Dm + m^2) \dots\dots\dots (3)$
- d. Volume tutup atas
 $V_{\text{tutup atas}} = 0,000049 \times D^3 \dots\dots\dots (4)$

keterangan:

- H_s = tinggi dari silinder (ft)
- D = diameter dari silinder (ft)
- V_s = volume dari silinder (cuft)
- m = flat spot center (0.105D)

- (3) Bahan konstruksi berupa Carbon *Steel* - SA 105

- (4) Menentukan ketinggian yang meliputi:

- a. Tinggi bahan
 $H_f = ((\pi/4) \times D^2) / \text{Volume bahan} \dots\dots\dots (5)$
- b. Tinggi silinder
 $H = 2D \dots\dots\dots (6)$
- c. Tinggi tutup bawah
 $H_{\text{tutup bawah}} = \frac{\tan \alpha \times (D-m)}{2} \dots\dots\dots (7)$
- d. Tinggi tutup atas
 $BC = rc - icr \dots\dots\dots (8)$
 $AB = 0,5 \times (Di - icr) \dots\dots\dots (9)$
 $b = rc - \sqrt{BC^2 - AB^2} \dots\dots\dots (10)$
 $H_{\text{tutup atas}} = b + sf + t \dots\dots\dots (11)$

dimana:

- H_f = tinggi bahan dalam tangka (ft)
- α = sudut connis
- OD = diameter luar (ft)
- ID = diameter dalam (ft)
- rc = radius kelengkungan (in.)
- icr = radius ujung kelengkungan dalam (in.)
- b = kedalaman lengkungan tutup (in.)
- sf = panjang *straight flange* (in.)
- t = tebal *gage* (in.)

- (5) Menentukan tekanan desain tangki yang meliputi:

- a. Tekanan hidrostatik
 $P_{\text{hidrostatik}} = \frac{\rho \times (\frac{g}{gc}) \times h}{144} \dots\dots\dots (12)$

- b. P operasi = 14.7 psia
- c. P desain (diasumsikan 10% dari jumlah P operasi + P hidrostatik agar lebih aman)
 $P_{\text{terukur dalam tangki}} = P_{\text{hidrostatik}} - P_{\text{operasi}}$

dimana:

- ρ = densitas (lb/ft³)
- H = D = diameter (ft)

$$g/gc = 1 \text{ lbf/lbm}$$

(6) Menentukan tebal tangki yang meliputi:

a. Mencari data – data pada buku Brownell & Young, Process Equipment Design antara lain: Faktor korosi, faktor pengelasan, nilai *stress allowable* dari jenis bahan konstruksi

b. Menghitung tebal shell minimum

$$t \text{ min} = \frac{P \times r_i}{f \times E - 0.6 \times P} + C \dots\dots\dots (13)$$

c. Menghitung tebal tutup bawah dengan menentukan bentuk tutup terlebih dahulu

$$t \text{ tutup bawah} = \frac{P \times D}{2 \cos \alpha (f \times E - 0.6 \times P)} + C \dots\dots\dots (14)$$

d. Menghitung kebutuhan cincin penguat jika $\Delta < 30^\circ$

Δ didapatkan berdasarkan tabel 13.3 Brownell dengan menghitung p/fE

e. Menghitung tebal tutup atas dengan menentukan bentuk tutup terlebih dahulu

$$W = 0.25 \times (3 + \sqrt{rc/icr}) \dots\dots\dots (15)$$

$$t \text{ tutup atas} = \frac{P \times rc \times W}{2f \times E - 0.2 \times P} + C \dots\dots\dots (16)$$

dimana:

- t tutup = tebal (in.)
- P = tekanan desain alat (psia)
- ri = jari – jari dalam alat (in.)
- f = *stress allowable* (psi)
- E = faktor pengelasan
- C = faktor korosi (in.)
- W = berat aliran (lb/jam)

(7) Menentukan nozzle outlet larutan, dengan asumsi aliran turbulen

$$\text{Diameter nozzle optimum} = 3,9 \times qf^{0,45} \times \rho^{0,13} \dots\dots\dots (17)$$

dimana:

- qf = fluid flowrate (ft³/detik)
- ρ = densitas (lb/ft³)

(8) Pengaduk yang digunakan, meliputi:

a. Jenis pengaduk adalah *flat blade turbine*

b. Menentukan jenis pengaduk berdasarkan sifat liquida di dalam tangki

c. Menentukan dimensi pengaduk

$$\text{Diameter impeller (Da)} = 1/3 \text{ Diameter tangki (Dt)} \dots\dots\dots (18)$$

$$\text{Lebar blade pengaduk (W)} = 1/5 \text{ Da} \dots\dots\dots (19)$$

$$\text{Panjang blade pengaduk (L)} = (1/4) \text{ Da} \dots\dots\dots (20)$$

$$\text{Jarak impeller dari dasar (E)} = 1/3 \text{ Dt} \dots\dots\dots (21)$$

d. Menentukan jumlah pengaduk

$$Sg = (\rho \text{ bahan} / \rho \text{ reference (H}_2\text{O)}) \dots\dots\dots (22)$$

$$\text{Jumlah impeller} = \frac{\text{tinggi larutan}}{\text{diameter bejana}} \times Sg \dots\dots\dots (23)$$

e. Menentukan jumlah putaran pengaduk (N)

$$V = \pi \times N \times Da \dots\dots\dots (24)$$

V harus memenuhi range antara 200 – 250 m/menit dengan trial nilai N

f. Menentukan kebutuhan baffle

$$NRe = \frac{\rho \times Da^2 \times N}{\mu} \dots\dots\dots (25)$$

Jika $NRe > 10000$, maka digunakan baffle sejumlah 4 dengan sudut 90°

$$\text{Lebar baffle (J)} = (1/12) \times \text{Diameter tangki} \dots\dots\dots (26)$$

g. Menentukan power (tenaga) dari pengaduk

$$P = (K_3/g) \times \rho_{\text{bahan}} \times N^3 \times Da^5 \dots\dots\dots (27)$$

Untuk losses pengaduk:

- Gland losses (kebocoran tenaga oleh poros dan *bearing*) = 10% x P
- Transmission system losses = 20% x P
- Power input = P + gland losses + transmission system losses

$$\text{Power input motor sebenarnya} = \text{Power input} / \text{Efisiensi} \dots\dots\dots (28)$$

dimana:

- sg = specific gravity
- V = peripheral speed (m/menit)
- Da = diameter impeller (ft)

μ = viskositas liquida (lb/ft.detik)
 K_3 = faktor mixer (turbin)

(9) Menentukan coil pemanas

- a. Menentukan suhu feed (T1), suhu produk (T2), suhu *steam* masuk (t1) dan keluar (t2)
- b. Menentukan Q supply dan kebutuhan steam dari neraca energi
- c. Menentukan LMTD

$$\Delta LMTD = \frac{(\Delta t_1 - \Delta t_2)}{\ln \left(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} \right)} \dots\dots\dots (29)$$

- d. Menentukan temperature caloric
- e. Menghitung spesifikasi coil

$$ho = j \times (k/ID) \times [c.\mu/k]^{1/3} \times [\mu/\mu_w]^{0.14} \dots\dots\dots (30)$$

dimana dengan menetapkan putaran pengaduk (N) dan diameter pipa coil, data – data seperti densitas (air dan larutan), viskositas (air dan larutan), nilai j dan k pada buku D.Q Kern, Process Heat Transfer.

$$Uc = (hio.ho)/(hio+ho) \dots\dots\dots (31)$$

dengan hio (steam) = 1500 BTU/jam.ft².°F

$$Rd = (Uc-Ud) / (Uc.Ud) \dots\dots\dots (32)$$

$$A = Q / (Ud \times \Delta t) \dots\dots\dots (33)$$

$$L = A/a'' \dots\dots\dots (34)$$

$$nc = L / (\pi \times Dc) \dots\dots\dots (35)$$

$$Lc = (nc-1) \times ((hc+do) + do) \dots\dots\dots (36)$$

dimana:

ho = koefisien heat transfer untuk liquid bagian luar (Btu/jam.ft².°F)

hio = bagian coil (steam); 1500 Btu/jam.ft².°F

Uc = heat transfer coefficient pipa dalam keadaan bersih (Btu/jam.ft².°F)

Ud = heat transfer coefficient pipa dibutuhkan dalam desain (Btu/jam.ft².°F)

Rd = dirt factor

nc = jumlah lilitan coil

Dc = diameter coil (ft)

Lc = tinggi coil (ft)

Rumus Penentuan Harga Alat

- (1) Menentukan indeks harga alat yang diperoleh dari CEPCI (*Chemical Engineering Plant Cost Index*) tahun 2020.
- (2) Menentukan harga alat dari situs (www.matche.com) dengan memasukkan nilai kondisi dan spesifikasi dari perhitungan reaktor likuifikasi, diantaranya adalah jenis reaktor, materia, tekanan operasi, dan volume reaktor.
- (3) Menghitung indeks harga dengan metode *least square*:

Nilai X : Tahun
 Nilai Y : Indeks harga
 $X.Y : X^2 \times Y^2$

- (4) Menghitung rumus dari persamaan 21 pada literatur Peters & Timmerhauss, yaitu:

$$\sum (\bar{x} - x)^2 = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}$$

$$\sum (\bar{y} - y)^2 = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \dots\dots\dots (37)$$

- (5) Menghitung rumus dari persamaan 21 menurut Max et al., (2003), yaitu:

$$\sum (\bar{x} - x)(\bar{y} - y) = \sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}$$

$$b = \frac{\sum (\bar{x} - x)(\bar{y} - y)}{\sum (\bar{x} - x)^2} \dots\dots\dots (38)$$

(6) Menentukan rata-rata dari nilai X dan rata-rata nilai Y

(7) Membuat persamaan dari perhitungan poin (3) sampai (4), yaitu:
 $y = a + b(x - c)$ (39)

dimana:

- a = nilai rata – rata Y
- c = nilai rata – rata X
- x = harga alat pada tahun ke – x

Hasil

Perhitungan Spesifikasi Harga dan Alat

Ditentukan:

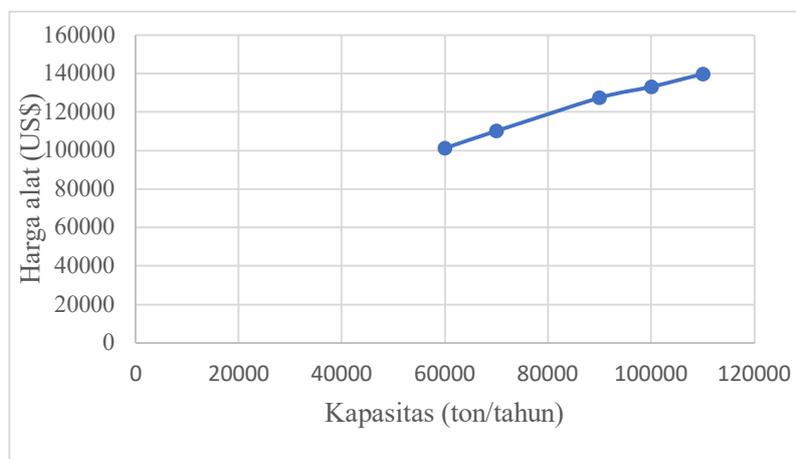
- Kapasitas 1 : 60.000 ton/tahun
- Kapasitas 2 : 70.000 ton/tahun
- Kapasitas 3 : 90.000 ton/tahun
- Kapasitas 4 : 100.000 ton/tahun
- Kapasitas 5 : 110.000 ton/tahun

Tabel 2. Perhitungan Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat	Kapasitas 1	Kapasitas 2	Kapasitas 3	Kapasitas 4	Kapasitas 5
Diameter tangki(ft)	8,095 (2,467)	8,522 (2,597)	9,267 (2,824)	9,598 (2,925)	9,908 (3,020)
Harga (US\$) pada tahun 2014	101.500	110.200	127.500	133.100	140.000

Berdasarkan tabel 1, kapasitas pertama yaitu 60.000 ton/tahun membutuhkan diameter tangki reaktor likuifikasi sebesar 8,095 ft untuk menjalankan proses likuifikasi secara optimal dengan perkiraan harga pada tahun 2014 sebesar US\$ 101.500. Selanjutnya, saat kapasitas dinaikkan, yaitu 70.000 ton/tahun dibutuhkan diameter tangki sebesar 8,522 ft dengan perkiraan harga pada tahun 2014 sebesar US\$ 110.200. Sedangkan saat kapasitas dinaikkan lagi, yaitu 90.000 ton/tahun dibutuhkan diameter tangki yang lebih besar yaitu 9,2657 ft dengan perkiraan harga pada tahun 2014 sebesar US\$ 127.500.

Hubungan Kapasitas Dengan Harga Alat



Gambar 2. Grafik hubungan antara kapasitas (ton/tahun) dan harga alat (US\$)

Pada grafik pada gambar 2, dapat dikatakan bahwa harga alat reaktor likuifikasi dipengaruhi oleh seberapa besarnya diameter tangki. Semakin besar kapasitas produksi, maka umpan yang masuk ke dalam reaktor juga akan semakin banyak, sehingga dibutuhkan dimensi tangki yang lebih besar agar mencukupi jumlah umpan yang masuk, salah satunya adalah diameter tangki. Selain itu, dengan bertambahnya ukuran diameter tangki reaktor likuifikasi, maka biaya pembuatan alat reaktor likuifikasi akan semakin mahal. Penentuan harga dari reaktor juga di pengaruhi oleh komponen pendukung dalam reaktor seperti koil pemanas dan jenis pengaduk. Koil pemanas dipilih karena lebih efektif dalam melakukan proses pemanasan di dalam vessel. Jenis koil mempunyai harga yang lebih terjangkau dari pada menggunakan mantel dalam proses pemasangannya dalam reaktor likuifikasi. Jenis komponen pendukung akan mempengaruhi biaya yang dibutuhkan dalam merancang reaktor likuifikasi ini.

Berdasarkan dari situs (www.alibaba.com) Weihai Zhengwei Machinery Co., Ltd sebagai acuan harga pasaran reaktor silinder dengan pengaduk seperti pada desain di berbagai volume kapasitas diperoleh sebagai berikut :

Tabel 3. Harga Reaktor Menurut Pasar

No	Volume Kapasitas (Liter)	Harga (US\$)
1.	100	20.000
2.	300	21.000
3.	1000	25.000
4.	3000	35.000

Analisis Perbandingan dengan Harga Pasar

Berdasarkan tinjauan pada laman Alibaba.com, alat reaktor dengan kapasitas 50L-20.000L dijual dengan harga US\$ 9.980 hingga US\$ 150.000 (Fujian Qiquan, 2021). Jika 20.000L digunakan sebagai contoh, maka didapat harga US\$ 150.000. Padahal dengan harga sebanyak itu dapat digunakan untuk membuat alat reaktor likuifikasi dengan kapasitas 120.000 ton/tahun.

Kesimpulan

Berdasarkan estimasi perhitungan harga alat reaktor likuifikasi, dapat disimpulkan bahwa semakin besar kapasitas produksi, maka harga perancangan alatnya akan semakin tinggi harganya. Hal ini dibuktikan dengan hasil dari perhitungan dengan kapasitas produksi 60.000 ton/tahun, harga alat mencapai US\$ 101.500, saat kapasitas produksi dinaikkan 20.000 ton/tahun, harga alat naik sebesar US\$ 26.000, yakni mencapai US\$ 127.500. Sehingga kesimpulan yang didapatkan yaitu metode perhitungan ini memadai dan dapat digunakan dalam estimasi harga alat untuk perancangan pabrik.

Daftar Pustaka

- Brownell, Lloyd E. and Young, Edwin H, *Process Equipment Design*, Wiley Eastern Limited, New Delhi, 1959
- Dewi, H. K., Puspasari, D. A., & Widjaja, A. (2014). *Pra Desain Pabrik Sorbitol dari Tepung Tapioka dengan Hidrogenasi Katalitik*. 3(1), 1–6.
- Direktorat Pangan Departemen Kesehatan Republik Indonesia. (2018). *Komposisi Gizi Pangan*. Panganku.Org. Panganku.org/id-ID/,2018
- Fujian Qiquan. (2021). *Mamalia Kultur Sel Bioreaktor Tetap Fluidized Bed Cell Culture*. Alibaba.Com. https://indonesian.alibaba.com/product-detail/mammalian-cell-culture-bioreactor-fixed-fluidized-bed-cell-culture-1600103686572.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.178214d4GacnrK
- Geankoplis, C.J and J.F Richardson, *Design Transport Process and Unit Operation*, Peramon Press, Singapore, 1989.
- Kern, Donald Q, *Process Heat Transfer*, McGRAW-Hill International Book Company, Tokyo, 1965.
- Ludwig, E, *Applied Process Design For Chemical And Petrochemical*, Vol I, Gulf publishing Co, Houston, Texas, 1964.
- Max, S. P., Klaus, D. T., & Ronald, E. W. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. McGraw-Hill Companies.
- McCabe, W., Smith, J.C, and Harriot, P., *Unit Operation of Chemichal Engineering*, McGraw Hill Book, co., United States of America, 1993.

- Perry, R.H., and Green, D.W., Perry's Chemical Engineers Hand Book 6th ed, McGraw Hill Book Company, Singapore, 1984.
- Rahmawati, A. Y., & Sutrisno, A. (2015). HIDROLISIS TEPUNG UBI JALAR UNGU (*Ipomea batatas* L.) SECARA ENZIMATIS MENJADI SIRUP GLUKOSA FUNGSIONAL: KAJIAN PUSTAKA. *Pangan Dan Agroindustri*, 3(3), 1152–1159.
- Santoso, H. (2010). Hidrolisa Enzimatis Pati Tapioka dengan Kombinasi Pemanas Microwave-Water Bath pada Pembuatan Dekstrin. *Jurnal Teknik Kimia Momentum*, 6(2), 29–35.
- Sutamihardja, R., Azizah, M., & Mafiana, B. D. (2017). Perbandingan Hidrolisis Enzimatis dan Asam Terhadap Pati Jagung Manis (*Zea Mays* L.) dalam Pembuatan Gula Cair. *Sains Natural Universitas Nusa Bangsa*, 7(2), 58–67.
- Triyono, A. (2008). Karakterisasi Gula Glukosa dari Hasil Hidrolisa Pati Ubi Jalar (*Ipomea Batatas*, L.) dalam Upaya Pemanfaatan Pati Umbi –Umbian. *Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2008 Bidang Teknik Kimia Dan Tekstil*, 5, 7–10.
- Ullmann. (2002). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (6th ed.). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. <https://doi.org/10.1002/14356007>
- Ulrich, G.G., *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economic*, John Willey and Sons, new York, 1984, p.249.