

# **PENENTUAN KAPASITAS PRODUKSI DAN SELEKSI PROSES PABRIK *HIGH FRUCTOSE SYRUP* DARI PATI BIJI NANGKA**

Aliya Cholifah dan Ari Susanti

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia  
[aliyacholifah@gmail.com](mailto:aliyacholifah@gmail.com); [ari.susanti@polinema.ac.id](mailto:ari.susanti@polinema.ac.id)

## **ABSTRAK**

Tingginya ketergantungan Indonesia terhadap impor gula menunjukkan bahwa produksi pemanis dalam negeri belum mampu memenuhi kebutuhan industri makanan dan minuman. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan alternatif pemanis berbasis bahan baku lokal yang efisien dan berkelanjutan. *High Fructose Syrup* (HFS) merupakan salah satu alternatif yang berpotensi dikembangkan, namun penentuan kapasitas produksi dan pemilihan proses yang tepat menjadi aspek penting untuk menjamin kelayakan teknis dan ekonomis industri tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kapasitas produksi serta melakukan seleksi proses pabrik HFS berbasis pati biji nangka. Perhitungan kapasitas produksi dilakukan berdasarkan proyeksi data konsumsi, produksi, impor, dan ekspor, sedangkan seleksi proses dilakukan melalui evaluasi beberapa alternatif metode hidrolisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas produksi yang layak adalah sekitar 10.000 ton/tahun. Proses hidrolisis enzimatis dan isomerisasi enzimatis dipilih sebagai metode terbaik karena memiliki tingkat konversi tinggi, kondisi operasi yang moderat, serta lebih ramah lingkungan. Hasil ini menunjukkan bahwa biji nangka berpotensi sebagai bahan baku lokal dalam pengembangan industri HFS yang berkelanjutan.

**Kata kunci:** *biji nangka, hidrolisis enzimatis, high fructose syrup, kapasitas produksi, proses isomerisasi*

## **ABSTRACT**

The high dependency of Indonesia on sugar imports indicates that domestic sweetener production has not been able to meet the demands of the food and beverage industry. Therefore, it is necessary to develop alternative sweeteners based on local raw materials that are efficient and sustainable. *High Fructose Syrup* (HFS) is one of the potential alternatives; however, determining the appropriate production capacity and selecting the optimal process are essential to ensure the technical and economic feasibility of the industry. This study aims to determine the production capacity and select the most suitable process for an HFS plant based on jackfruit seed starch. The production capacity was estimated using projections of consumption, production, import, and export data, while process selection was carried out by evaluating several hydrolysis methods. The results indicate that the feasible production capacity is approximately 10,000 tons per year. Enzymatic hydrolysis and enzymatic isomerization were selected as the optimal processes due to their high conversion rate, moderate operating conditions, and environmentally friendly characteristics. These findings demonstrate that jackfruit seeds have strong potential as a local raw material for the sustainable development of the HFS industry.

**Keywords:** *jackfruit seed, enzymatic hydrolysis, high fructose syrup, production capacity, isomerization process*

## **1. PENDAHULUAN**

Pada tahun 2020, impor gula Indonesia mencapai 5,48 juta ton, menunjukkan bahwa permintaan domestik jauh melebihi produksi dalam negeri [1]. Kondisi ini mendorong perlunya pengembangan alternatif pemanis yang dapat diproduksi secara efisien dengan memanfaatkan sumber daya lokal. Salah satu alternatif yang berpotensi dikembangkan adalah

*High Fructose Syrup* (HFS), yang mampu digunakan dalam industri makanan dan minuman karena memiliki tingkat kemanisan lebih tinggi dibandingkan sukrosa serta tidak mudah mengalami kristalisasi [2].

HFS umumnya diproduksi melalui hidrolisis pati yang dilanjutkan dengan proses isomerisasi untuk mengkonversi glukosa menjadi fruktosa [3]. Bahan baku yang umum digunakan dalam produksi HFS adalah pati dari jagung atau ubi kayu [3]. Namun demikian, ketergantungan pada bahan baku tersebut dapat menimbulkan persaingan dengan kebutuhan pangan lainnya. Oleh karena itu, diperlukan alternatif bahan baku non-konvensional yang memiliki ketersediaan melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal [4].

Indonesia sebagai negara agraris memiliki potensi besar dalam memanfaatkan bahan baku lokal untuk produksi HFS. Salah satu bahan baku yang dapat digunakan adalah biji nangka. Biji nangka yang sering kali dianggap sebagai limbah, sebenarnya memiliki kandungan pati yang tinggi dan berpotensi untuk diolah menjadi fruktosa [5]. Dengan memanfaatkan biji nangka sebagai bahan baku bukan hanya limbah yang dapat dikurangi, tetapi juga nilai ekonomi dari biji nangka dapat ditingkatkan. Biji nangka mengandung pati sekitar 20-25% dengan kadar amilosa tinggi (24-32%) [6]. Kandungan tersebut menunjukkan bahwa biji nangka berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam produksi HFS. Pemanfaatan biji nangka tidak hanya dapat meningkatkan nilai tambah limbah pertanian, tetapi juga mendukung pengembangan industri yang lebih berkelanjutan berbasis sumber daya lokal [7].

Dalam perancangan industri HFS, penentuan kapasitas produksi dan pemilihan proses merupakan dua aspek penting yang saling berkaitan. Kapasitas produksi yang tidak sesuai dengan kebutuhan pasar dapat menyebabkan ketidakefisienan operasional, baik dalam bentuk kelebihan kapasitas maupun kekurangan pasokan [8]. Sementara itu, pemilihan proses yang tidak tepat dapat berdampak pada rendahnya efisiensi konversi, tingginya biaya operasional, serta meningkatnya dampak lingkungan [9]. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang sistematis dalam menentukan kapasitas produksi dan memilih proses yang paling optimal.

Beberapa penelitian sebelumnya telah melakukan penentuan kapasitas produksi dan seleksi proses pada berbagai industri kimia, seperti industri *pulp* dari pelepah pisang dan sabun cair berbasis minyak kelapa sawit [8] [9]. Metode yang digunakan umumnya melibatkan analisis data konsumsi, produksi, impor, dan ekspor untuk memperkirakan kebutuhan pasar, serta metode pembobotan dalam mengevaluasi alternatif proses berdasarkan kriteria teknis, ekonomis, dan lingkungan [10]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pendekatan kuantitatif dapat memberikan dasar yang lebih objektif dalam perancangan kapasitas produksi dan pemilihan proses industri.

Meskipun demikian, kajian mengenai penentuan kapasitas produksi dan seleksi proses pada industri HFS berbahan baku biji nangka masih belum banyak dilaporkan dalam literatur. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menentukan kapasitas produksi pabrik *High Fructose Syrup* berbasis pati biji nangka berdasarkan analisis kebutuhan pasar dan ketersediaan bahan baku, serta melakukan seleksi proses produksi yang paling optimal melalui pendekatan teknis dan ekonomis.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1. Kapasitas Produksi

Kapasitas produksi merupakan jumlah produk yang dapat diproduksi atau dihasilkan dalam satuan waktu tertentu. Perhitungan kapasitas produksi didasarkan pada data pendukung yang mencakup tren pertumbuhan produksi, konsumsi, ekspor, dan impor suatu produk [9]. Proses ini dilakukan untuk mengetahui tingkat produksi setiap tahunnya dengan cara menghitung rata-rata pertumbuhannya melalui empat tahapan perhitungan, yaitu:

- 1) Pertumbuhan Rata-Rata Setiap Tahun.

Rumus untuk menghitung pertumbuhan rata-rata setiap tahunnya sebagai berikut:

$$i = \frac{\sum \%P}{n} \quad (1)$$

Dimana:

$i$  = Pertumbuhan rata-rata per tahun

$\%P$  = Persen Pertumbuhan per tahun

$n$  = Jumlah data  $\%P$

[8], [9]

- 2) Data Konsumsi, Produksi, Impor, dan Ekspor

Rumus untuk memprediksi data konsumsi, produksi, impor, dan ekspor pada tahun pendirian pabrik sebagai berikut:

$$m_{\text{tahun yang dicari}} = m_{\text{tahun terakhir data}} \times (1 + i)^a \quad (2)$$

Dimana:

$m$  = Peluang kapasitas

$i$  = Pertumbuhan rata-rata per tahun

$a$  = Selisih tahun

[8], [9]

- 3) Peluang Kapasitas Produksi

Rumus untuk menghitung peluang kapasitas produksi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_{2024} + m_{\text{produksi } 2024} + m_{\text{impor } 2024} &= m_{\text{konsumsi } 2024} + m_{\text{ekspor } 2024} \\ m_{2024} &= m_{\text{konsumsi } 2024} + m_{\text{ekspor } 2024} - (m_{\text{produksi } 2024} + m_{\text{impor } 2024}) \end{aligned} \quad (3)$$

Dimana:

$m$  = Peluang kapasitas

$m_p$  = Prediksi data produksi

$m_k$  = Prediksi data konsumsi

$m_e$  = prediksi data ekspor

$m_i$  = Prediksi data impor

[8], [9]

- 4) Kapasitas Produksi

Perhitungan kapasitas produksi juga didasari pada adanya pabrik yang serupa atau tidak pada negara tersebut. Jika terdapat pabrik yang serupa maka kapasitas produksi dikalikan dengan 0,6; namun jika pabrik belum ada pabrik serupa maka kapasitas produksi dikalikan 1,5 [8], [9]. Sehingga rumus yang digunakan untuk menghitung kapasitas produksi sebagai berikut:

Jika sudah ada pabrik serupa, maka:

$$\text{Kapasitas produksi} = 0,6 \times m_{2024} \quad (4)$$

Jika belum ada pabrik serupa, maka:

$$\text{Kapasitas produksi} = 1,5 \times m_{2024} \quad (5)$$

Data yang digunakan untuk menghitung kapasitas produksi yaitu impor, ekspor, produksi, dan konsumsi. Berikut merupakan data yang dibutuhkan akan tercantum pada Tabel 1:

**Tabel 1.** Data konsumsi, ekspor, produksi, dan impor HFS 2009-2013 [11]

Tahun	Konsumsi (Ton)	Ekspor (Ton)	Produksi (Ton)	Impor (Ton)
2009	343.730,40	213,55	227.830,00	7.155,25
2010	383.680,40	113,77	227.830,00	8.583,05
2011	417.930,40	131,76	227.830,00	13.906,00
2012	455.650,40	45,42	227.830,00	25.678,23
2013	492.300,40	172,74	227.830,00	51.904,03

Dalam menentukan kapasitas dari pabrik HFS berbahan baku biji nangka, perhitungan kapasitas didasarkan pada ketersediaan bahan baku, sehingga pada saat produksi nantinya ketersediaan bahan baku terjamin. Pabrik HFS direncanakan untuk didirikan di Kabupaten Kendal, Jawa Tengah pada tahun 2024. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada potensi ketersediaan bahan baku, yaitu limbah biji nangka yang berasal dari industri pengolahan buah di sekitar wilayah Kendal. Pemanfaatan limbah tersebut diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah sekaligus mendukung konsep industri berkelanjutan.

Bahan baku biji nangka diperoleh dari wilayah Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta sebagai daerah pemasok utama. Pemilihan wilayah ini didasarkan pada kedekatan lokasi dengan rencana pendirian pabrik di Kabupaten Kendal, Jawa Tengah, serta potensi ketersediaan limbah biji nangka dari industri pengolahan buah di daerah tersebut. Untuk mengetahui ketersediaan biji nangka.

Untuk mengetahui ketersediaan biji nangka sebagai bahan baku, diperlukan data produksi buah nangka sebagai dasar perhitungan. Data tersebut diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) yang menyajikan informasi produksi buah nangka di wilayah Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta. Berdasarkan data tersebut, estimasi jumlah biji nangka dihitung dengan mengacu pada persentase berat biji terhadap total buah, yaitu sebesar 30% sesuai dengan literatur yang digunakan [6]. Dengan demikian, data produksi buah nangka dapat digunakan untuk memperkirakan potensi ketersediaan biji nangka yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam produksi HFS.

Data produksi buah nangka yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam rentang waktu tahun 2018 hingga 2023 untuk memberikan gambaran tren ketersediaan bahan baku. Data tersebut diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) untuk wilayah Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) sebagai daerah pemasok utama. Penyajian data dalam beberapa tahun bertujuan untuk mendukung

analisis proyeksi ketersediaan bahan baku pada tahun rencana pendirian pabrik. Data produksi buah nangka tersebut disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Data produksi buah nangka wilayah Jawa Tengah dan DIY 2018-2023 [12]

Tahun	Jumlah Produksi Buah Nangka (Ton)
2018	592.270
2019	3.372.677
2020	3.682.840
2021	3.662.260
2022	3.541.307
2023	3.708.047

## 2.2. Seleksi Proses

Seleksi proses pada perancangan pabrik adalah tahapan pemilihan satu atau beberapa alternatif proses produksi yang paling sesuai untuk diaplikasikan dalam pembangunan pabrik. Proses ini dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai aspek seperti aspek teknis (kondisi proses, operasi, kualitas produk), aspek ekonomi (biaya investasi, biaya operasional, keuntungan), dan aspek lingkungan (dampak terhadap lingkungan) agar diperoleh proses yang optimal, efisien, dan ramah lingkungan [8].

Pemilihan proses dilakukan berdasarkan telaah literatur dari penelitian terdahulu. Proses seleksi dilakukan dengan metode penilaian tertentu, di mana setiap alternatif proses dibandingkan berdasarkan keunggulan dan kelemahannya masing-masing [9]. Metode yang digunakan merupakan metode pembobotan (*weighting and scoring*), di mana setiap alternatif proses dinilai berdasarkan beberapa kriteria, antara lain tingkat konversi, kondisi operasi, kualitas produk, aspek ekonomis, serta dampak lingkungan [10]. Setiap kriteria diberikan bobot sesuai tingkat kepentingannya, kemudian dilakukan penilaian untuk memperoleh nilai total dari masing-masing alternatif proses. Alternatif proses dengan nilai tertinggi dipilih sebagai proses yang paling optimal untuk digunakan dalam perancangan pabrik.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Kapasitas Produksi

Penentuan kapasitas produksi pabrik *High Fructose Syrup* (HFS) dilakukan berdasarkan analisis kebutuhan pasar yang diperoleh dari data konsumsi, produksi, impor, dan ekspor pemanis di Indonesia. Data historis dari tahun 2018 hingga 2023 digunakan sebagai dasar untuk menghitung laju pertumbuhan rata-rata tahunan, yang kemudian diproyeksikan pada tahun rencana pendirian pabrik, yaitu tahun 2024. Pemilihan tahun 2024 didasarkan pada asumsi waktu perencanaan dan pembangunan pabrik sehingga kapasitas yang ditentukan dapat sesuai dengan kondisi pasar pada saat pabrik mulai beroperasi.

Pabrik dirancang untuk dibangun pada tahun 2024, dimana dari data pada Tabel 1, yaitu data konsumsi, ekspor, impor, akan dihitung nilai pertumbuhan rata-rata pertahun menggunakan rumus (1). Hasil perhitungan nilai pertumbuhan rata-rata pertahun akan tertera pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Perhitungan nilai %P konsumsi, ekspor, impor HFS 2009-2013

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)			%P		
	Konsumsi	Ekspor	Impor	Konsumsi	Ekspor	Impor
2009	343.730,40	213,55	7.155,25	-	-	-
2010	383.680,40	113,77	8.583,05	12%	-47%	20%
2011	417.930,40	131,76	13.906,00	9%	16%	62%
2012	455.650,40	45,42	25.678,23	9%	-66%	85%
2013	492.300,40	172,74	51.904,03	8%	280%	102%
	i			<b>9%</b>	<b>46%</b>	<b>67%</b>

Dari hasil perhitungan nilai pertumbuhan tersebut dapat digunakan untuk menghitung prediksi besarnya konsumsi, ekspor, impor untuk tahun 2024 dengan menggunakan rumus (2). Dalam perhitungan ini, data produksi diasumsikan tetap dikarenakan tidak tersedia data terbaru yang menunjukkan perubahan signifikan. Hasil proyeksi konsumsi, ekspor, produksi, dan impor pada tahun 2024 disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Prediksi data konsumsi, ekspor, produksi dan impor HFS 2024

Tahun	Konsumsi (Ton/Tahun)	Ekspor (Ton/Tahun)	Produksi (Ton/Tahun)	Impor (Ton/Tahun)
2024	5.924.587,45	11.070,08	227.830,00	14.808.553,53

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, diperoleh bahwa kebutuhan pemanis di Indonesia masih belum dapat dipenuhi oleh produksi dalam negeri. Hal ini ditunjukkan oleh nilai impor yang masih relatif tinggi dibandingkan dengan produksi domestik. Kondisi tersebut mengindikasikan adanya peluang pengembangan industri pemanis, termasuk HFS di dalam negeri.

Data hasil perhitungan kemudian digunakan sebagai dasar dalam menghitung kapasitas produksi pabrik pada tahun 2024. Berdasarkan perhitungan, diperoleh peluang kapasitas produksi sebesar 9.100.726,67 ton/tahun. Namun demikian, mengingat telah terdapat pabrik serupa di dalam negeri, maka kapasitas yang diambil tidak seluruhnya dari peluang tersebut. Dalam penelitian ini, kapasitas produksi ditetapkan sebesar 60% dari peluang kapasitas, sehingga diperoleh kapasitas produksi sebesar 5.460.435,61 ton/tahun.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kapasitas produksi yang diperoleh secara teoritis berada pada nilai yang cukup besar. Untuk menentukan kapasitas pabrik yang akan didirikan, penting untuk mempertimbangkan aspek ketersediaan bahan baku. Mengingat bahwa bahan baku utama untuk pabrik HFS berasal dari limbah, analisis mengenai ketersediaan limbah tersebut juga diperlukan untuk menetapkan kapasitas produksi yang optimal. Dengan melakukan analisis ini, pabrik dapat memastikan bahwa pasokan bahan baku akan mencukupi untuk mendukung operasi secara berkelanjutan. Pabrik HFS berbahan baku biji nangka ini akan didirikan Kabupaten Kendal di Jawa Tengah, sehingga pemasok bahan baku berfokus di daerah Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta. Berdasarkan data pada Tabel 5, jumlah biji nangka di wilayah Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta menunjukkan fluktuasi dari tahun ke tahun, namun secara umum berada pada kisaran yang relatif stabil. Hal ini mengindikasikan bahwa ketersediaan bahan baku memiliki potensi yang cukup untuk mendukung operasional pabrik. Data pada tahun

2023 digunakan sebagai dasar dalam perhitungan kapasitas produksi karena merupakan data terbaru yang mencerminkan kondisi aktual ketersediaan bahan baku.

**Tabel 5.** Prediksi data biji nangka di daerah Jawa Tengah dan DIY 2018-2023

Tahun	Jumlah Biji Nangka (Ton)
2018	8.461,0
2019	48.181,1
2020	52.612,0
2021	52.318,0
2022	50.590,1
2023	52.972,1

Berdasarkan analisis tersebut, kapasitas produksi pabrik ditetapkan dengan mempertimbangkan keseimbangan antara kebutuhan pasar dan ketersediaan bahan baku. Oleh karena itu, kapasitas produksi yang dipilih sebesar 10.000 ton/tahun dinilai telah sesuai dan mampu didukung oleh pasokan bahan baku biji nangka secara berkelanjutan.

### 3.2. Seleksi Proses

Pati biji nangka terdiri dari dua komponen utama, yaitu amilosa dan amilopektin. Berdasarkan beberapa penelitian, komposisi pati biji nangka biasanya sekitar 26-32% amilosa dan 68-74% amilopektin [5]. Amilosa adalah polimer linier dengan ikatan  $\alpha$ -(1-4) glikosida, sedangkan amilopektin adalah polimer bercabang dengan ikatan  $\alpha$ -(1-6) glikosida. Dalam proses produksi HFS, pati biji nangka ini mengalami hidrolisis enzimatis menggunakan enzim seperti  $\alpha$ -amilase dan glukamilase yang memecah rantai polisakarida menjadi molekul glukosa [13]. Selanjutnya, glukosa yang dihasilkan melalui proses likuifikasi dan sakarifikasi diubah menjadi fruktosa menggunakan enzim glukoisomerase [2]. Fruktosa inilah komponen utama dalam HFS yang banyak digunakan dalam industri makanan dan minuman.

Hidrolisis pati merupakan proses pemecahan molekul pati menjadi gula-gula sederhana seperti glukosa dan fruktosa melalui reaksi dengan air [14]. Proses ini dapat dilakukan secara enzimatis maupun kimiawi, tergantung pada tujuan akhir dan jenis produk yang ingin dihasilkan. Dalam proses hidrolisis enzimatis, enzim seperti amilase digunakan untuk mengkatalisis pemutusan ikatan glikosidik pada rantai amilosa dan amilopektin, menghasilkan oligosakarida dan monosakarida [13]. Amilase bekerja dengan menyerang ikatan  $\alpha$ (1 $\rightarrow$ 4)-glikosidik pada pati, memecahnya menjadi molekul-molekul glukosa atau maltosa yang lebih sederhana [13]. Proses hidrolisis enzimatis ini biasanya dilakukan pada suhu yang moderat dan kondisi pH yang netral hingga sedikit asam untuk mengoptimalkan aktivitas enzim [15].

Dengan begitu, proses pembuatan HFS Secara garis besar diawali dengan hidrolisis untuk mendapatkan glukosa dari pati kemudian dilanjutkan dengan proses isomerisasi untuk mengkonversi glukosa menjadi fruktosa menggunakan enzim, kemudian dilanjutkan dengan kemurnian. Untuk mendapatkan glukosa diperlukan hidrolisis terlebih dahulu dimana proses hidrolisis berbahan pati memiliki 3 macam proses hidrolisis, yaitu: hidrolisis asam, hidrolisis asam-enzim, dan hidrolisis enzim.

1) Hidrolisis dengan Asam

Proses hidrolisis pati untuk membuat sirup gula dengan menggunakan asam ditemukan pertama kali oleh kimiawan Rusia, *Khirchoff* pada tahun 1811. Pada tahun 1830, teknologi ini dikembangkan di Amerika. Teknologi ini berhasil memproduksi 115 liter sirup gula per hari. Teknologi ini juga berhasil dikembangkan untuk beberapa jenis pati, yaitu: pati jagung, gandum, beras, dan kentang. Asam yang digunakan untuk proses ini adalah asam sulfat, asam klorida, dan asam fosfat. Dalam proses ini asam berfungsi sebagai katalis yang dapat mempercepat terbentuknya produk [16]. Berikut ini merupakan reaksi yang terjadi pada hidrolisis pati dengan asam [3], [16].



Pada proses konversi asam, *slurry* pati (biasanya mempunyai kandungan bahan kering antra 35-45%) dipompa ke *vessel* bertekanan yang dinamakan *converter*. Proses penurunan pH sampai 2,0 dengan menggunakan HCl pada suhu 140-160°C dan tekanan 80 psi (5,4 atm) dilakukan pada *converter*. Selama proses hidrolisis, antara rantai 1,4 dan 1,6 dipecahkan dan membentuk molekul pati dengan berat molekul yang lebih rendah. Waktu tinggal di *converter* 10-15 menit untuk menghasilkan *low Dextrose Equivalent* (DE) Sirup pada suhu operasi. Dalam proses hidrolisis dengan asam, konversi reaksi perlu dijaga rendah untuk menghindari perubahan warna [16].

Pada umumnya pati yang terhidrolisis dengan asam akan menghasilkan DE 25-45 karena keterbatasan konversi. DE menunjukkan total gula pereduksi yang dihitung dengan *D-glukosa* dalam berat kering. Besaran DE dibandingkan terbalik dengan derajat polimerisasi. Pati yang tidak terhidrolisis memiliki DE 0, sedangkan yang terhidrolisis mempunyai DE dengan *D-glukosa anhydrous* 100 [16].

## 2) Hidrolisis Asam-Enzim

Seperti halnya pada hidrolisis asam, pati atau tepung dihidrolisis hingga mencapai *Dextrose Equivalent* (DE) dengan Batasan tertentu di *converter*, selanjutnya enzim akan berperan untuk mencapai konversi dan DE yang diinginkan. Reaksi dengan enzim akan dilakukan pada *enzyme tank*, enzim akan dicampurkan langsung dengan *slurry* hasil hidrolisa asam dan dibiarkan bereaksi selama waktu tertentu. Jumlah penambahan enzim tergantung berapa profil karbohidrat yang diinginkan. Berikut merupakan beberapa jenis enzim yang umum dipakai untuk proses hidrolisis dengan enzim menurut Helmut uhlig (1998) [17].

Jenis enzim yang digunakan dalam proses hidrolisis pati memiliki peran penting dalam menentukan nilai *Dextrose Equivalent* (DE) yang dihasilkan sebagaimana dipaparkan pada Tabel 6. Nilai DE menunjukkan tingkat konversi pati menjadi gula sederhana, di mana semakin tinggi nilai DE, maka semakin tinggi tingkat kemanisan dan kandungan gula reduksi yang dihasilkan [17]. Proses hidrolisis dengan menggunakan enzim seperti  $\alpha$ -amilase berfungsi untuk memecah pati menjadi dekstrin dengan nilai DE rendah hingga menengah, sedangkan penggunaan enzim glukamilase pada tahap sakarifikasi memungkinkan pembentukan glukosa dengan nilai DE yang lebih tinggi.

Selanjutnya, untuk menghasilkan High Fructose Syrup, glukosa yang terbentuk akan diisomerisasi menjadi fruktosa menggunakan enzim glukosa isomerase, sehingga diperoleh

produk dengan tingkat kemanisan yang lebih tinggi [17]. Penggunaan kombinasi enzim dalam proses hidrolisis dan isomerisasi ini memberikan keuntungan berupa kontrol yang lebih baik terhadap produk yang dihasilkan, kondisi operasi yang lebih moderat, serta minimnya pembentukan produk samping.

**Tabel 6.** Jenis enzim yang umum dipakai untuk proses hidrolisis

Hidrolisat	Tingkat DE	Enzim yang memproduksi
Glucose Syrup	With Low Sweetening	Alpha Amylase
	With Normal Sweetening	
	With intermediate Sweetening	
Glucose Syrup	With High Sweetening	Alpha Amylase; sakarifikasi dengan <i>amyloglucosidase</i> (Pembentukan glukosa dan maltosa)
	With Highest Sweetening	
	High Fructose Syrup	

Berdasarkan karakteristik enzim dan produk yang dihasilkan, proses hidrolisis enzimatik yang dilanjutkan dengan isomerisasi enzimatik dinilai lebih unggul dan sesuai untuk digunakan dalam produksi *High Fructose Syrup* dibandingkan dengan proses hidrolisis asam.

### 3) Hidrolisis Enzim

Proses hidrolisis pati dengan enzim umum untuk digunakan karena menghasilkan konversi fruktosa yang besar, mengurangi kemungkinan perubahan warna dan rasa yang tidak diinginkan serta DE dapat langsung ditentukan dari karakteristik enzim yang digunakan. Menurut Helmut uhlig (1998), proses hidrolisis dengan enzim secara garis besar dipaparkan sebagai berikut:

**Tabel 7.** Deskripsi proses menggunakan enzim [17]

Proses	Deskripsi Proses
Likuifikasi	Pemutusan rantai panjang polisakarida pada pati menjadi dekstrin.
Sakarifikasi	Pengubahan dekstrin menjadi <i>D-glukosa</i> .
Isomerisasi	Pengubahan <i>D-glukosa</i> menjadi <i>D-fruktosa</i> .

Konsentrasi fruktosa yang dihasilkan dari teknologi enzim dapat bervariasi antara 42%, 55% dan 90%. Pembuatan HFS 55% melalui proses sebagai berikut tepung pati dilarutkan dengan air dalam *mixing tank* dengan konsentrasi *solid* 35% dan pH 6,5. Selain itu dilakukan penambahan kalsium ( $\text{CaCl}_2$ ) sebagai *stabilizer* dari enzim *alpha-amylase*. Selanjutnya larutan pati dialirkan ke *steam jet cooker* untuk menaikkan suhu sampai 105-107°C. Dalam *steam jet cooker*, suhu *slurry* dijaga selama 5- 10 menit. Alternatif kondisi operasi adalah suhu 120-130°C selama beberapa sekon. Namun tidak disarankan karena proses handling akan lebih sulit. Setelah itu dilakukan penambahan enzim *alpha-amylase* pada reaktor likuifikasi. Jenis reaktor likuifikasi yang digunakan dapat berupa *well-insulated pipelines*, *continuously stirred tank*, atau *holding tank*. Proses likuifikasi dilaksanakan selama 2-3 jam. Biasanya proses likuifikasi akan didinginkan dari 100°C menjadi 90 atau 95 °C. Selama

proses likuifikasi DE yang terbentuk adalah 8-10. Namun dalam skala pabrik, DE harus 15-16 sampai pada tahap likuifikasi [17].

Tahap sakarifikasi dimulai dengan mendinginkan sirup ke suhu 60 °C dengan *heat exchangers* dan pH diatur menjadi 4-4,5 dengan bantuan asam klorida. Tujuan proses sakarifikasi adalah membentuk sirup glukosa dan *D-glukosa*. Enzim akan ditambahkan ke tank sakarifikasi yang terinsulasi. Proses pengadukan akan dilakukan secara periodik atau kontinu. Proses sakarifikasi dapat berlangsung *batch* atau *kontinu*. Untuk menghindari glukosa terkonversi balik maka dibutuhkan 6-12 tangki sakarifikasi. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai DE 98 kurang lebih 48-72 jam. Kandungan akhir sirup dari hasil sakarifikasi adalah 96% glukosa, 2-3 % disakarida, dan 1-2 % gula lain. Biasanya pH akan turun drastis karena aktivitas mikroba penghasil enzim dan pembentukan asam. Proses selanjutnya adalah filtrasi dengan *rotary vacuum filter* untuk menghilangkan protein residu dan lemak sebelum didekolorisasi di *carbon treatment* dan didemineralisasi di *ion exchanger* [17].

Tahap isomerisasi digunakan untuk mengubah glukosa menjadi fruktosa dengan bantuan enzim *glucose isomerase*. Konversi dari *D-glukosa* ke *D-fruktosa* mencapai 50%. *Glucose isomerase* membutuhkan kation divalent  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  atau  $\text{Mn}^{2+}$  untuk aktivitas katalitik dan tidak boleh ada ion  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Zn}^{2+}$  karena sifat ion-ion tersebut *inhibitor*. Sehingga sebelum proses isomerisasi diperlukan proses demineralisasi. Kehadiran oligosakarida lain masih diperbolehkan maksimal 7%. Berdasarkan kondisi enzim, pH proses isomerisasi adalah 6,5-8,5 dengan suhu 40-80°C dengan waktu tinggal 4 jam untuk reaktor jenis *fix bed* [16]. Untuk jenis reaktor lain, ada *batch reactor* dan *CSTR Reactor*. Namun karena *batch reactor* tidak bisa dioperasikan secara *kontinu*, maka penggunaan *batch* tidak direkomendasikan. Sedangkan untuk jenis CSTR dibandingkan dengan jenis *fix bed*, lebih ekonomis *fix bed*. Setelah konversi selesai, sirup akan masuk ke tahap selanjutnya yakni pemurnian dengan dekolorisasi di *carbon treatment*, demineralisasi di *ion exchange*, dan evaporasi untuk mencapai kandungan sirup fruktosa 70-72% [16].

Berdasarkan penjelasan mengenai berbagai jenis proses hidrolisis pati, diketahui bahwa setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Metode hidrolisis asam, asam-enzim, dan enzimatik memiliki karakteristik berbeda dalam hal efisiensi konversi, kondisi operasi, kualitas produk, kebutuhan purifikasi, keekonomisan proses, serta potensi terhadap korosi peralatan. Dalam konteks industri, pemilihan teknologi hidrolisis yang tepat harus mempertimbangkan seluruh aspek tersebut secara objektif dan terukur guna memastikan proses yang dipilih dapat memberikan hasil yang optimal, baik dari sisi teknis, ekonomis, maupun lingkungan.

Oleh karena itu, dilakukan proses penilaian kuantitatif menggunakan metode pembobotan dan pemberian skor (*scoring*) untuk masing-masing faktor pembanding yang dianggap relevan dan penting dalam industri. Tujuan dari metode ini adalah untuk memperoleh dasar pemilihan yang lebih sistematis, terstruktur, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Faktor-faktor pembanding meliputi konversi, kondisi operasi, kualitas produk, proses purifikasi, keekonomisan, dan *corrosivity*. Setiap faktor diberikan bobot berdasarkan tingkat kepentingannya terhadap keseluruhan proses, kemudian dilakukan penilaian skor terhadap ketiga metode hidrolisis tersebut berdasarkan

data dari literatur dan pertimbangan teknis. Hasil penilaian ini disajikan dalam tabel berikut:

**Tabel 8.** Penilaian untuk macam-macam proses hidrolisis

Faktor Pembanding	Bobot	Asam	Asam-Enzim	Enzim	Keterangan
Konversi	11%	7,7	8,8	10,78	Asam-enzim menghasilkan konversi paling tinggi.
Kondisi Operasi	15%	12,75	13,5	14,25	Enzimatik berlangsung pada suhu dan tekanan rendah.
Kualitas Produk	14%	11,2	11,9	11,9	Enzimatik hasilkan produk dengan kemurnian lebih tinggi.
Proses Purifikasi	7%	5,6	5,6	6,3	Ketiganya memerlukan purifikasi yang kompleks.
Keekonomian	27%	26,46	21,6	18,9	Hidrolisis asam biaya operasionalnya paling rendah.
<i>Corrosivity</i>	26%	18,2	20,8	23,4	Enzim tidak menyebabkan korosi.
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>81,91</b>	<b>82,2</b>	<b>85,53</b>	<b>Enzim memiliki nilai paling tinggi</b>

Berdasarkan Tabel 8, dilakukan penilaian terhadap tiga metode hidrolisis yaitu asam, asam-enzim, dan enzimatik dengan mempertimbangkan enam faktor pembanding: konversi, kondisi operasi, kualitas produk, proses purifikasi, keekonomian, dan *corrosivity*. Masing-masing faktor diberi bobot berdasarkan pengaruhnya terhadap keseluruhan efisiensi proses. Penentuan skor dan bobot dilakukan berdasarkan literatur teknis serta pertimbangan karakteristik umum dari tiap metode hidrolisis. Misalnya, hidrolisis enzimatik cenderung lebih ramah lingkungan karena tidak bersifat korosif dan beroperasi pada kondisi ringan, walaupun dari segi keekonomisan masih kalah dibanding metode asam. Bobot tertinggi diberikan pada keekonomisan (27%) karena biaya produksi menjadi pertimbangan utama dalam skala industri. Skor akhir menunjukkan bahwa metode enzimatik memiliki total nilai tertinggi (85,53), sehingga dinilai sebagai metode paling unggul secara keseluruhan dalam konteks ini.

Hasil penilaian menunjukkan bahwa metode hidrolisis enzimatik memperoleh nilai tertinggi sebesar 85,53, diikuti oleh metode asam-enzim (84,8) dan metode asam (81,91). Proses enzimatik menunjukkan keunggulan dalam aspek konversi, kondisi operasi yang moderat, serta kualitas produk yang tinggi. Selain itu, metode ini lebih ramah lingkungan karena tidak melibatkan bahan kimia korosif, sehingga menurunkan risiko kerusakan alat serta mengurangi beban pengolahan limbah. Walaupun metode asam unggul dari sisi keekonomian, keunggulan teknis dan keberlanjutan proses pada metode enzimatik menjadikannya sebagai pilihan utama dalam produksi HFS dari pati biji nangka.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, penentuan kapasitas produksi pabrik High Fructose Syrup (HFS) dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan pasar serta ketersediaan bahan baku. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kapasitas produksi secara teoritis memiliki nilai yang besar, namun setelah mempertimbangkan aspek teknis, ketersediaan bahan baku biji nangka,

serta keberlanjutan pasokan, kapasitas produksi yang dipilih adalah sebesar 10.000 ton/tahun.

Selain itu, hasil seleksi proses menunjukkan bahwa proses hidrolisis enzimatis yang dilanjutkan dengan isomerisasi enzimatis merupakan metode yang paling optimal untuk produksi HFS. Pemilihan proses ini didasarkan pada tingkat konversi yang tinggi, kondisi operasi yang moderat, serta dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan dengan alternatif proses lainnya.

Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan, salah satunya adalah penggunaan data konsumsi, produksi, impor, dan ekspor yang bersumber dari rentang tahun 2009–2013, serta data bahan baku dari tahun 2023. Ketidakterbaruan data ini dapat memengaruhi akurasi estimasi kapasitas produksi. Oleh karena itu, disarankan agar pada penelitian selanjutnya digunakan data yang lebih mutakhir dan diperoleh langsung dari instansi terkait agar perhitungan kapasitas dan analisis kelayakan lebih representatif terhadap kondisi pasar saat ini. Selain itu, perlu dilakukan validasi teknis melalui uji coba skala laboratorium atau pilot plant untuk memastikan kesesuaian proses enzimatis dalam kondisi operasional sebenarnya.

#### REFERENSI

- [1] Badan Pusat Statistik, "Impor Gula menurut Negara Asal Utama, 2017-2023," Jakarta, 2023.
- [2] K. Paker, M. Salas, dan V. C. Nwosu, "High Fructose Corn Syrup: Production, Uses and Public Health Concerns," *Biotechnology and Molecular Biology Reviews*, vol. 5, no. 5, hal. 71–78, 2010.
- [3] J. N. BeMiller dan K. C. Huber, "Carbohydrate Chemistry for Food Scientists. 3rd Edition," *AACC International*, hal. 371–400, 2018.
- [4] A. Rahmawati, "Isomerisasi Enzimatis Tepung Sorgum Merah Untuk Pembuatan 'High Fructose Syrup,'" *Doctoral Dissertation Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 2018.
- [5] N. A. Aliyatunnaim, N. D. Luciani Septina, D. F. Angelin Ginting, dan F. Maharani, "Karakteristik Pati Biji Nangka (*Artocarpus Heterophyllus*) yang Berpotensi Sebagai Pengganti Gelatin pada Pembuatan Cangkang Kapsul Lunak," *Prosiding Sains Nasional dan Teknologi*, vol. 12, no. 1, hal. 9, 2022
- [6] N. A. Choiriyah, A. M. Benita, A.P. Sundjaja, "Modifikasi Pati Biji Nangka Secara Fisik Dan Kimia," *Agritech: Jurnal Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Purwokerto*, vol. XXII, no. 2, 2020.
- [7] S. Fadhila Al-Farid dan A. Sukainah, "Kualitas Minuman Sari Biji Nangka (*Artocarpus Heterophyllus*) Dengan Penambahan Jahe Merah (*Zingiber Officinale Varrubrum Rhizoma*)," *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, vol. 5, hal. 115–123, 2019.
- [8] V. Athaariq dan Hardjono, "Penentuan Kapasitas Produksi Dan Seleksi Proses Prarancangan Pabrik Pembuatan Pulp Dari Pelepah Pisang Kapasitas 69.000 Ton/Tahun," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 10, no. 4, hal. 812–819, 2024.
- [9] N. Laila Qomariah dan H. Dewajani, "Penentuan Kapasitas Produksi Dan Seleksi Proses Pra Rancangan Pabrik Kimia Sabun Cair Berbasis Minyak Kelapa Sawit Kapasitas 40.000 Ton/Tahun," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 8, no. 4, hal. 815–824, 2022.

- [10] F. P. Putri, D. Ernia, dan N. Dewi, "Seleksi Proses Dan Penentuan Kapasitas Pabrik Pada Pra-Rancangan Pabrik Bubuk Kaldu Jamur Tiram," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 8, no. 3, hal. 502–508, 2022.
- [11] Badan Pusat Statistik, "Produksi, Impor, Ekspor Gula, 2009-2013," Jakarta, 2023.
- [12] Badan Pusat Statistik, "Produksi Buah-buahan dan Sayuran Menurut Jenis Tanaman Menurut Provinsi, 2023," Jakarta, 2023.
- [13] Y. Marsono dan O. Suparno, "Peran Enzim Amilase dalam Hidrolisis Pati," *Jurnal Bioteknologi*, vol. 14, no. 1, hal. 45–52, 2017.
- [14] R. A. Putri dan A. Haryanto, "Proses Hidrolisis Pati dan Aplikasinya dalam Industri Pangan," *Jurnal Teknologi Pangan*, vol. 14, no. 1, hal. 123–130, 2016.
- [15] S. Yuliana dan Y. Yusriani, "Aktivitas Amilase dalam Pemecahan Pati pada Suhu dan pH Berbeda," *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*, vol. 9, no. 3, hal. 210–218, 2021.
- [16] J. N. BeMiller dan R. Lester. Whistler, "*Starch: chemistry and technology*," Academic, 2009.
- [17] H. Uhlig, "*Industrial Enzymes and Their Applications*," New york: John Wiley & Sons Ltd, 1998.