

**PRA RANCANGAN PABRIK *HIGH FRUCTOSE SYRUP* (HFS)
KAPASITAS 40.000 TON/TAHUN BERBAHAN BAKU
TEPUNG TAPIOKA**



SKRIPSI PRA RANCANGAN PABRIK

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains Terapan
pada Politeknik Negeri Ujung Pandang

Syifa Badriyyah

432 19 030

**PROGRAM STUDI D4-TEKNOLOGI KIMIA INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK KIMIA
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR**

2021

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Pra Rancangan Pabrik *High Fructose Syrup* (HFS) Kapasitas 40.000 Ton/Tahun Berbahan Baku Tepung Tapioka” oleh Syifa Badriyyah NIM 43219030 dan Andi Nurwaqiah Iradewi NIM 43219033 dinyatakan layak untuk diujikan.

Makassar, September 2021

Menyetujui,
Pembimbing I



Ir. Hastami Murdiningsih, M.T.
NIP. 196006061 19880 3 002

Pembimbing II



Drs. Abdul Azis, M.T.
NIP. 19630727 199003 1 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi
D4 Teknik Kimia Industri



Dr. Fajriyati Mas'ud, STP., M.Si.
NIP. 19720628 200812 2 001

DAFTAR ISI

	hlm.
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
SURAT PERNYATAAN	xv
ABSTRAK	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tinjauan Pustaka Bahan Baku dan Produk	3
1.2.1 Tinjauan Pustaka Bahan Baku	3
1.2.2 Tinjauan Pustaka Produk	4
1.2.3 Kegunaan Produk Fruktosa	11
1.2.4 Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku dan Produk	12
1.3 Penentuan Kapasitas Rancangan	16
1.4 Pemilihan Lokasi Pendirian Pabrik	22
BAB II DESKRIPSI PROSES	25
2.1 Pertimbangan Pemilihan Proses	25
2.2 Uraian Proses	26
BAB III NERACA MASSA	35
3.1 Tangki Mixing I	35
3.2 Tangki Jet Cooker	36
3.3 Reaktor Likuifikasi	36
3.4 Reaktor Sakarifikasi	37
3.5 Rotary Vacuum Drum Filter	38
3.6 Kation Exchanger I	39
3.7 Anion Exchanger I	39
3.8 Evaporator I	40
3.9 Reaktor Isomerasi	41

3.10	Tangki Mixing II	42
3.11	Tangki Karbonasi	43
3.12	Filter Press	44
3.13	Kation Exchanger II	45
3.14	Anion Exchanger II	46
3.15	Evaporator II	47
BAB IV NERACA PANAS		48
4.1	Jet Cooker	48
4.2	Tangki Pendingin I	48
4.3	Reaktor Likuifikasi	49
4.4	Tangki Pendingin II	49
4.5	Reaktor Sakarifikasi	50
4.6	Rotary Vacuum Drum Filter	51
4.7	Evaporator I	51
4.8	Barometric Condensor I	52
4.9	Heater	52
4.10	Reaktor Isomerisasi	53
4.11	Evaporator II	53
4.12	Barometric Condensor II	54
BAB V SPESIFIKASI ALAT		55
5.1	Tangki Penampung Tepung Tapioka	55
5.2	Belt Conveyor	55
5.3	Bucket Elevator	56
5.4	Tangki Penampung CaCl ₂	56
5.5	Tangki Mixing I	57
5.6	Pompa Centrifugal I	58
5.7	Jet Cooker	58
5.8	Tangki Pendingin I	58
5.9	Tangki Penampung Enzim α -amilase	59

5.10 Reaktor Likuifikasi	60
5.11 Pompa Centrifugal II	61
5.12 Tangki Pendingin II	61
5.13 Tangki Penampung Enzim Glukoamilase	62
5.14 Tangki Penampung HCl 0,1 M	62
5.15 Reaktor Sakarifikasi	63
5.16 Pompa Centrifugal III	64
5.17 RVDF	64
5.18 Tangki Penampung I	65
5.19 Pompa Centrifugal IV	65
5.20 Kation Exchanger I	65
5.21 Anion Exchanger I	66
5.22 Pompa Centrifugal IV	67
5.23 Evaporator I	67
5.24 Barometric Condensor I	68
5.25 Jet Ejector I	68
5.26 Hot Well I	68
5.27 Pompa Centrifugal VI	69
5.28 Heater	69
5.29 Tangki Penampung $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	69
5.30 Tangki Penampung Enzim Glukoisomerase	70
5.31 Tangki Penampung NaOH 0,1 M	70
5.32 Reaktor Isomerasi	71
5.33 Pompa Centrifugal VII	72
5.34 Tangki Mixing II	72
5.35 Pompa Centrifugal VIII.....	73
5.36 Tangki Penampung Karbon Aktif	73
5.37 Tangki Karbonasi	74
5.38 Pompa Centrifugal IX	75

5.39 Filter Press	75
5.40 Tangki Penampung II	75
5.41 Pompa Centrifugal X	76
5.42 Kation Exchanger II	76
5.43 Anion Exchanger II	77
5.44 Pompa Centrifugal XI	77
5.45 Evaporator II	78
5.46 Baometric Condensor II	78
5.47 Jet Ejector II	79
5.48 Hot Well II	79
5.49 Pompa Centrifugal XII	79
5.50 Tangki Penampung HFS-42 II	80
BAB VI UTILITAS dan PENGOLAHAN LIMBAH	81
6.1 Utilitas	81
6.1.1 Unit Pengolahan Air	81
6.1.2 Unit Penyediaan Steam	85
6.1.3 Unit Pembangkit Tenaga Listrik.....	86
6.1.4 Unit Penyedia Bahan Bakar	86
6.2 Unit Pengolahan Limbah.....	86
6.3 Instrumentasi dan Pengendalian Proses	87
BAB VII LOKASI dan TATA LETAK PABRIK.....	96
7.1 Lokasi Pabrik	96
7.2 Tata Letak Pabrik	97
7.3 Prakiraan Area Lingkungan	97
BAB VIII SISTEM MANAJEMEN dan ORGANISASI PERUSAHAAN	99
8.1 Bentuk Badan Perusahaan	99
8.2 Sistem Organisasi Perusahaan	99
8.3 Struyktur Organisasi	101
8.4 Jumlah Karyawan	105
8.5 Status Karyawan dan Sistem Pengupahan	106

8.6 Pembagian Jam Kerja Karyawan	108
BAB IX ANALISA EKONOMI	111
9.1 <i>Total Capital Investment (TCI)</i>	111
9.2 <i>Total Production Cost (TPC)</i>	112
9.3 <i>Analisa Profitability</i>	112
BAB X KESIMPULAN	114
DAFTAR PUSTAKA	115
LAMPIRAN A NERACA MASSA	119
LAMPIRAN B NERACA PANAS	160
LAMPIRAN C SPESIFIKASI ALAT	206
LAMPIRAN D UTILITAS	451
LAMPIRAN E ANALISA EKONOMI	490

ABSTRAK

PRA RANCANGAN PABRIK *HIGH FRUCTOSE SYRUP* (HFS) KAPASITAS 40.000 TON/TAHUN BERBAHAN BAKU TEPUNG TAPIOKA

Pabrik HFS berbahan baku tepung tapioka, akan didirikan di Tulang Bawang, Bandar Lampung. Pabrik ini berdiri dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, sarana transportasi, tenaga kerja serta kondisi lingkungan.

Pabrik direncanakan memproduksi HFS sebanyak 40.000 ton/tahun dengan waktu operasi selama 24 jam/hari, 330 hari/tahun. Bahan baku yang digunakan adalah tepung tapioka sebanyak 7.428,2839 kg/jam.

Jumlah karyawan sebanyak 195 orang dengan bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan menggunakan struktur organisasi garis dan staf. Dari analisis ekonomi diperoleh: *Fixed Capital Investment* (FCI) = Rp214.637.535.577; *Working capital Investment* (WCI) = Rp91.987.515.247; *Total Capital Investment* (TCI) = Rp306.625.050.824; *Break Even Point* (BEP) = 14,99%; *Pay Out Time after Taxes* (POT) = 3 tahun; *Internal Rate Return* (IRR) = 12%.

Mempertimbangkan paparan di atas, sudah selayaknya pendirian pabrik HFS ini dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dan mempunyai masa depan yang baik.

Kata kunci : Fruktosa, tepung tapioka, enzimatis, RATB.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu penghasil komoditi ubi kayu terbesar nomor empat di dunia setelah Nigeria, Brazil dan Thailand (FAO, 2017) sehingga sangat memungkinkan untuk mengembangkan industri yang berbasis ubi kayu. Di Indonesia, ubi kayu tersebar diberbagai kawasan terutama di Jawa dan Sumatera. Daerah penghasil ubi kayu di Pulau Jawa meliputi Jawa Timur (Pacitan, Jember, Kediri, Madiun), Jawa Tengah (Banyumas, Yogyakarta, Wonogiri), dan Jawa Barat (Bogor, Tasikmalaya), dan Provinsi Lampung di Pulau Sumatera. Beberapa daerah lain yang menghasilkan ubi kayu dalam jumlah yang cukup besar antara lain adalah Sulawesi Selatan, Nusa Tenggara Barat, dan Nusa Tenggara Timur.

Ubi kayu merupakan salah satu tanaman pangan terbesar ketiga di Indonesia setelah padi dan jagung. Ubi kayu tersebar luas di seluruh Indonesia, seperti di Provinsi Lampung (5.541.692 ton/tahun), Jawa Tengah (3.243.835 ton/tahun), Jawa Timur (2.901.987 ton/tahun), dan tersebar di seluruh Indonesia (BPS, 2016). Ubi kayu (*Manihot utilisima*) merupakan salah satu hasil pertanian yang mengandung karbohidrat dan sumber kalori yang cukup tinggi (161 kkal), umbinya mengandung air sekitar 60%, pati (25-35%), protein, mineral, serat, kalsium, dan fosfat (Noerwijati & Mejaya, 2015).

Salah satu industri yang berbasis ubi kayu yang telah dikembangkan sebagai suatu agroindustri di Indonesia adalah industri tepung tapioka. Agroindustri tersebut, dengan kapasitas rata-rata 15.000.000-17.000.000 ton/tahun, telah mampu menjadikan Indonesia sebagai penghasil tepung tapioka terbesar nomor dua di dunia setelah Thailand (ITPC, 2017). Tepung tapioka dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti bahan pangan, pakan, dan sebagai bahan baku industri. Salah satu industri yang dapat menggunakan tepung tapioka sebagai bahan baku adalah industri pembuatan fruktosa. Dari beberapa alternatif yang ada, pengubahan pati ubi kayu menjadi fruktosa merupakan pilihan yang baik bila dibandingkan dengan penggunaan bahan pemanis buatan yang lain.

Selain itu, juga merupakan suatu cara untuk meningkatkan nilai ekonomi dari ubi kayu, sebagai salah satu bentuk diversifikasi produk olahan berbahan ubi kayu, dan untuk memenuhi kebutuhan gula di Indonesia yang semakin meningkat seiring pertambahan jumlah penduduk dan pertumbuhan industri yang menggunakan gula sebagai salah satu bahan baku.

Prospek perkembangan pabrik fruktosa di Indonesia sangatlah menjanjikan karena ketersediaan bahan baku yaitu tepung tapioka yang sangat besar. Fruktosa (bahasa Inggris: *fructose*, *levulose*) atau gula buah, adalah monosakarida yang ditemukan di banyak jenis tumbuhan dan merupakan salah satu dari tiga gula darah penting bersama dengan glukosa dan galaktosa, yang bisa langsung diserap ke aliran darah selama proses pencernaan. Fruktosa ditemukan oleh kimiawan Perancis Augustin-Pierre Dubrunfaut pada tahun 1847. Fruktosa murni rasanya sangat manis, warnanya putih, berbentuk kristal padat, dan sangat mudah larut dalam air. Fruktosa merupakan pemanis favorit yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini ditunjang dari sifat fruktosa yang mempunyai kadar kemanisan 2,5 kali dari glukosa (Lehninger, 1990). Fruktosa selain memberikan rasa manis alami, juga memberikan resiko kesehatan yang relatif rendah.

Fruktosa telah banyak digunakan oleh industri-industri seperti industri yang memproduksi produk minuman ringan, produk farmasi, minuman buah, selai, permen dan sirup. Pemanfaatan bahan fruktosa oleh industri penggunaannya meningkat tiap tahun. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan impor fruktosa yang terus mengalami peningkatan setiap tahunnya dimana berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS) impor fruktosa pada tahun 2019 mengalami peningkatan 3.916,52 ton/tahun. Walaupun tingkat konsumsi fruktosa cukup meningkat, namun sampai saat ini pabrik-pabrik fruktosa yang ada belum mampu memenuhi kebutuhan para penggunanya maka diyakini dan sangat diharapkan bahwa di masa yang akan datang pemerintah makin fokus untuk mengembangkan pabrik yang telah ada dan mendirikan pabrik-pabrik fruktosa yang baru di Indonesia sehingga dapat menutupi ketergantungan akan impor fruktosa dari luar negeri. Disamping itu, dengan didirikannya pabrik ini akan membuat kesempatan terciptanya lapangan kerja baru

dan juga dengan adanya pabrik ini akan mendorong berdirinya pabrik-pabrik lain yang menggunakan bahan dasar fruktosa di Indonesia.

Pembangunan suatu pabrik fruktosa, sebagaimana halnya pembangunan pabrik lainnya, memerlukan suatu kajian yang komprehensif dan seksama untuk menjamin keberlangsungan operasionalnya sehingga dapat berperan sebagai penghasil devisa bagi negara dengan dampak negatif yang seminimal mungkin bagi masyarakat dan lingkungan hidup. Adapun hal-hal yang perlu dikaji tersebut antara lain ketersediaan bahan baku, lokasi, ketersediaan sumber daya manusia yang kompeten, dana/modal, peralatan, utilitas, tempat pemasaran, dan kajian dampak lingkungan.

1.2 Tinjauan Pustaka Bahan Baku dan Produk

1.2.1 Tinjauan Pustaka Bahan Baku

Tapioka adalah pati yang diperoleh dari umbi kayu. Tapioka, dalam perdagangan, lebih dikenal sebagai *tapioka flour* atau tepung tapioka. Nama lain dari tapioka adalah pati kanji, pati singkong, pati pohon sesuai dengan sebutan untuk ubi kayu di beberapa daerah (Muljoharjo, 1997). Tepung tapioka yang dibuat dari ubi kayu ini mempunyai banyak kegunaan, antara lain sebagai bahan pembantu dalam berbagai industri.

Dibandingkan dengan tepung jagung, kentang, dan gandum atau terigu, komposisi zat gizi tepung tapioka cukup baik, tapioka juga digunakan sebagai bahan bantu pewarna putih. Tapioka yang diolah menjadi fruktosa sangat diperlukan oleh berbagai industri, antara lain industri yang memproduksi produk minuman ringan, produk farmasi, minuman buah, selai, permen dan sirup. Hasil dari tepung tapioka ini lebih halus dibandingkan dengan pati. Kualitas tapioka sangat ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu (Radiyah, 1990 dalam Rachman):

1. Warna tepung; tepung tapioka yang baik berwarna putih.
2. Kandungan air; tepung harus dijemur sampai kering benar sehingga kandungan airnya rendah.
3. Banyaknya serat dan kotoran; usahakan agar banyaknya serat dan kayu yang digunakan harus yang umurnya kurang dari 1 tahun karena serat dan zat kayunya masih sedikit dan zat patinya masih banyak.

4. Tingkat kekentalan; usahakan daya rekat tapioka tetap tinggi. Untuk ini hindari penggunaan air yang berlebih dalam proses produksi

Tabel 1.1 Komponen Tepung Tapioka

Komponen	Komposisi
Karbohidrat (Pati)	87,87%
Air	7,80%
Protein	1,60%
Lemak	0,51%
Abu	2,22%
Total	100,00%

(Sumber : Direktorat Gizi, Departemen Kesehatan RI, 2003)

Pengolahan ubi kayu menjadi tepung tapioka oleh masyarakat (kebutuhan rumah tangga) dan industri kecil banyak dilakukan di Amerika Latin, Afrika, Asia Selatan dan Tenggara, termasuk di Indonesia. Dari 1000 kg ubi kayu yang telah bersih dan terkupas kulitnya (kandungan bahan kering 35%) dapat menghasilkan tepung tapioka sebanyak 252 kg (kandungan bahan kering 88%), di dalam bahan kering tepung terkandung juga protein (0,2%) dan abu (0,15%). Meskipun tepung tapioka tidak termasuk di dalam golongan amilopektin, namun tepung tapioka memiliki sifat-sifat yang sangat mirip dengan amilopektin. Misalnya, dalam bentuk pasta amilopektin menunjukkan kenampakan yang sangat jernih, tidak mudah menggumpal pada suhu normal, memiliki daya pemekat yang tinggi, tidak mudah pecah atau rusak, suhu gelatinisasi lebih rendah. Tahap-tahap pengolahan tepung tapioka di pabrik besar dapat dibagi menjadi: pengolahan pendahuluan, pemisahan atau ekstraksi pati, dan pengolahan penyelesaian.

1.2.2 Tinjauan Pustaka Produk

Sirup fuktosa dibuat dari glukosa melalui proses isomerisasi menggunakan enzim glukosa isomerase. Sirup fruktosa memiliki tingkat kemanisan (*relative sweetness*) 2,5 kali lebih besar dibanding sirup glukosa dan 1,4–1,8 kali lebih tinggi dibanding gula sukrosa.

Tabel 1.2 Tingkat Kemanisan Relatif Beberapa Jenis Gula

Fruktosa	150
Sukrosa	100
Dekstrosa	68
Maltosa	30
Sirup Glukosa DE 64	49
Sirup Glukosa DE 42	33
HFS 42	88
50% HFS dan 50% Sukrosa	98

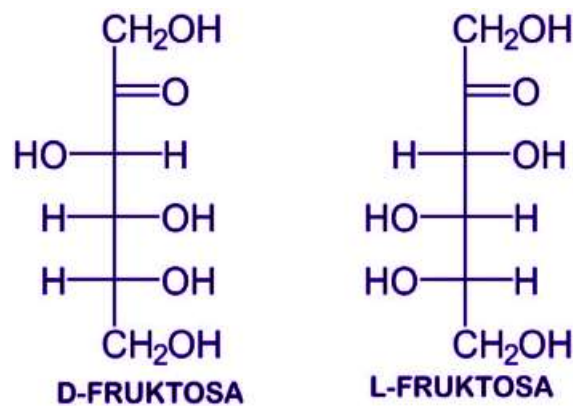
Sumber : Berghmans dan Aschengreen (1980)

Meskipun memiliki tingkat kemanisan yang lebih tinggi, tetapi sirup fruktosa memiliki indeks glikemik lebih rendah (32 ± 2) dibanding glukosa (138 ± 4), sedangkan sukrosa memiliki indeks glikemik sebesar 87 ± 2 . Oleh sebab itu sirup fruktosa bisa untuk pemanis penderita diabetes. Sirup fruktosa akan terasa lebih manis bila dalam keadaan dingin (Richana, 2006). Berdasarkan keunggulan sirup fruktosa maka pemanfaatan fruktosa tidak hanya untuk penderita diabetes, tetapi juga untuk produk minuman ringan, sirup, jeli, jam, koktail, dan sebagainya.

HFS (High Fructose Syrup) dibuat dengan cara enzimasi pati secara bertingkat, dengan memanfaatkan enzim alpha amylase, amyloglukosidase dan isomerase. Hasil yang didapat berupa sirup (72-75%) yang mengandung 52-55% glukosa, 42-45% fruktosa dan sekitar 3% maltosa dan isomaltosa, karena pembuatannya HFS merupakan sirup yang sangat murni, bebas dari kandungan logam-logam berat, sisa asam, maupun jasad renik, warnanya sangat jernih sehingga sangat sesuai dengan kepentingan industri (Tjokroadikoesomo, 1986).

Fruktosa secara fisiologis sangat cepat bereaksi, sehingga dapat menjadi suatu aktivator gula dalam metabolisme. Bahan baku untuk pengolahan HFS adalah sirup dekstrosa yang dihasilkan melalui cara pengenceran, dekstrinasi dan sakarifikasi pati memakai katalisator sistem enzim (Tjokroadiekoesoemo, 1993).

Adapun struktur molekul fruktosa digambarkan sebagai berikut.



Gambar 1.1 Struktur Fruktosa

Proses Pembuatan *High Fructose Syrup* (HFS) dari Tepung tapioka

HFS umumnya dibuat dari pati melalui proses hidrolisis. Adapun jenis pati yang biasa digunakan sebagai bahan baku pembuatan HFS antara lain tapioka, sagu, pati jagung, dan pati umbi-umbian. Secara garis besar, ada dua tahap proses dalam pembuatan HFS yakni hidrolisis pati menjadi glukosa yang kemudian dilanjutkan dengan proses isomerasi glukosa menjadi fruktosa. Fruktosa dibuat dalam bentuk cair sehingga disebut HFS.

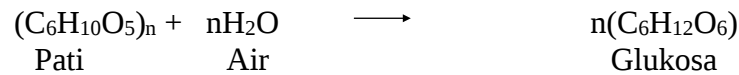
1. Proses hidrolisis pati menjadi glukosa

Pati yang diperoleh dari tepung tapioka dihidrolisis untuk menghasilkan glukosa. Ada tiga metode hidrolisis yang dapat dipilih untuk tujuan tersebut, yaitu:

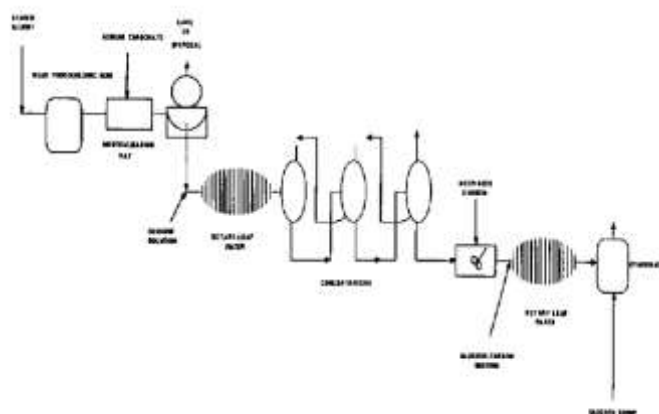
a. Hidrolisis dengan menggunakan asam

Proses hidrolisis pati dengan menggunakan asam ditemukan pertama kali oleh Kirchoff pada tahun 1811, tetapi produksi secara komersial terlaksana pada tahun 1850. Asam yang biasa digunakan untuk proses ini antara lain adalah asam sulfat, asam klorida, dan asam fosfat. Dalam proses ini asam berfungsi sebagai katalis yang dapat mempercepat terbentuknya produk (Purba, 2016). Dalam industri umumnya digunakan asam klorida sebagai katalisator. Pemilihan ini didasarkan bahwa garam yang terbentuk setelah penetralan hasil dengan soda abu (Na_2CO_3) merupakan garam yang tidak berbahaya yaitu garam dapur (NaCl). Jumlah garam NaCl yang terbentuk pun relatif kecil dan biasanya

dibiarkan karena tidak mempengaruhi rasa sirup yang dihasilkan (Kriswiyanti, 2006 dalam Purba, D.S.). Reaksi yang terjadi pada hidrolisis pati dengan asam adalah sebagai berikut:



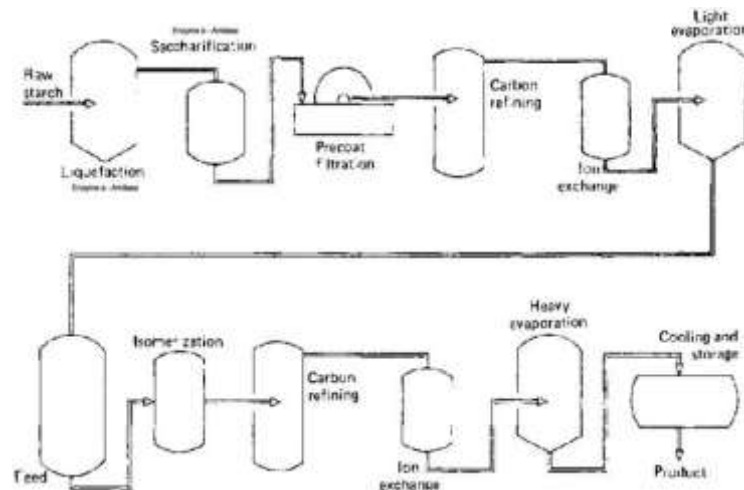
Pada proses konversi asam, *slurry* pati (biasanya mempunyai kandungan bahan kering antara 30–40% (berat kering) diasamkan sampai pH 2 atau lebih rendah dengan waktu, temperatur, dan tekanan tertentu. Temperatur yang lebih tinggi dan bertekanan akan mengurangi waktu reaksi. Ketika konversi yang diinginkan sudah tercapai, temperatur dan tekanan direduksi dan reaksi dihentikan dengan menambahkan *neutralizing agent* (biasanya *Sodium carbonate*) untuk menaikkan pH menjadi 4–5,5. Keuntungan menggunakan hidrolisis asam antara lain adalah: 1) proses operasi singkat; dan 2) Asam yang digunakan untuk hidrolisis mudah didapat dan tersedia di dalam negeri. Sedangkan kekurangan menggunakan hidrolisis asam antara lain adalah: 1) menghasilkan konversi yang cukup rendah (DE sekitar 40–45%); 2) memerlukan peralatan yang tahan korosi; 3) menghasilkan sakarida dengan spektra-spektra tertentu saja karena proses hidrolisis secara acak; dan 4) dapat menyebabkan degradasi karbohidrat maupun kombinasi produk degradasi yang mempengaruhi warna, rasa, dan masalah teknis lainnya.



Gambar 1.2 Flowsheet Hidrolisis Asam

b. Hidrolisis dengan menggunakan enzim-enzim

Penggunaan enzim dalam industri gula dari pati mulai dirintis sejak penemuan enzim α -amilase dari *Bacillus Subtilis* oleh Fukumoto pada tahun 1940. Hidrolisis pati dengan menggunakan enzim dilakukan dengan dua jenis enzim yaitu enzim α -amilase dan gluokoamylase (amilglukosidase).



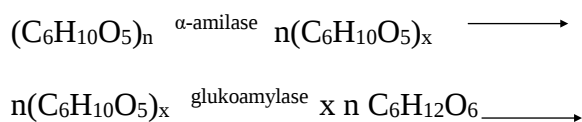
Gambar 1.3 Flowsheet Hidrolisis Enzim

Amilase terdiri atas 3 jenis yaitu α -amilase, β -amilase, dan gluokoamilase. α -amilase bekerja dengan memutus ikatan α -1,4-glikosidik pada rantai lurus amilum sehingga menghasilkan glukosa dalam konfigurasi alpha, maltosa dan dekstrin. Enzim β -amilase bekerja dengan memecah ikatan α -1,4 glikosidik dan tidak mampu melewati ikatan percabangan α -1,6-glikosidik sehingga menghasilkan maltose dalam konfigurasi beta. Enzim gluokoamilase bekerja dengan menghidrolisis ikatan α -1,4 dan α -1,6 glikosidik dari gugus non pereduksi sehingga menghasilkan D-glukosa (Moo Yong, 1985 dalam Purba, D.S.).

Enzim α -amilase digunakan pada proses likuifikasi, sedangkan enzim gluokoamilase digunakan pada proses sakarifikasi. Enzim α -amilase tahan pada suhu tinggi yang dibutuhkan untuk proses gelatinase pati secara sempurna. Enzim α -amilase yang tahan terhadap suhu tinggi ditambahkan pada *slurry* pati disertai kalsium (CaCl_2) sebagai *stabilizer enzyme* yang telah diatur pH nya (6–6,5). pH < 6,3 lebih dipilih untuk mencegah pembentukan maltosa yang tidak

dapat dikonversi secara enzimatik menjadi glukosa, dimana pembentukan maltosa akan mengurangi yield glukosa. Selain itu, telah diperkenalkan kondisi operasi baru bahwa enzim α -amilase mampu melikuiifikasi pati pada pH 4,5 tanpa membutuhkan penambahan kalsium, hal tersebut mampu mengurangi biaya bahan kimia dan pemurnian. Prosesnya adalah *slurry* dipanaskan, biasanya dengan injeksi *steam* secara langsung pada 103°C – 107°C selama 5–10 menit untuk likuifikasi pati secara sempurna, kemudian 1–2 jam pada 95°C untuk meningkatkan nilai DE antara 10–15. Temperatur dan pH diatur dan disesuaikan dengan enzim yang digunakan untuk *secondary conversion* (proses sakarifikasi). Hidrolisis enzim-enzim dapat meningkatkan yield glukosa dan menurunkan kebutuhan pemurnian. Kandungan glukosa maksimum selama proses sakarifikasi juga ditentukan oleh kandungan solid pada *slurry*, dengan kandungan solid 30% wb biasanya glukosa yang dihasilkan adalah 96% db. Dengan menurunkan kandungan solid 10–12% wb akan meningkatkan glukosa yang didapat menjadi 98–99% wb/db.

Reaksi yang terjadi pada hidrolisis pati dengan enzim–enzim adalah sebagai berikut:



Kelebihan dari hidrolisis enzim-enzim adalah sebagai berikut:

- Menghasilkan konversi glukosa yang lebih besar yaitu 97%
- Dapat mengurangi kerusakan produk yang timbul dari *reverse reaction* selama proses konversi
- Dapat mempertahankan rasa dan aroma bahan dasar
- Tidak menyebabkan korosi pada peralatan
- Biaya energi untuk konversi lebih rendah
- Menghasilkan yield 20% lebih tinggi dari pada yang dihasilkan dengan hidrolisis asam-enzim
- Mengurangi *discoloration*
- Mengurangi biaya purifikasi sirup

Kekurangan hidrolisis enzim-enzim adalah sebagai berikut:

- Membutuhkan kondisi operasi yang berbeda untuk setiap enzim
- Kebutuhan enzim banyak
- Kebutuhan enzim dipenuhi dengan impor enzim yang dibutuhkan

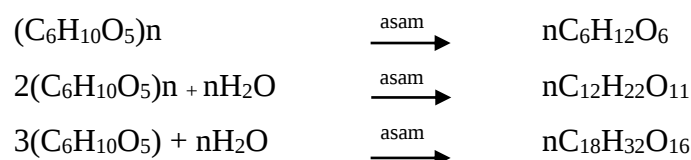
c. Hidrolisis dengan menggunakan asam dan enzim

Hidrolisis dengan katalis gabungan ini diperkenalkan pertama kali oleh Langlois & Dale pada tahun 1940. Dalam proses hidrolisis dengan katalis kombinasi ini, pada awalnya dilakukan hidrolisis parsial dengan menggunakan enzim amilolitik (Tjokroadikoesoemo, 1986).

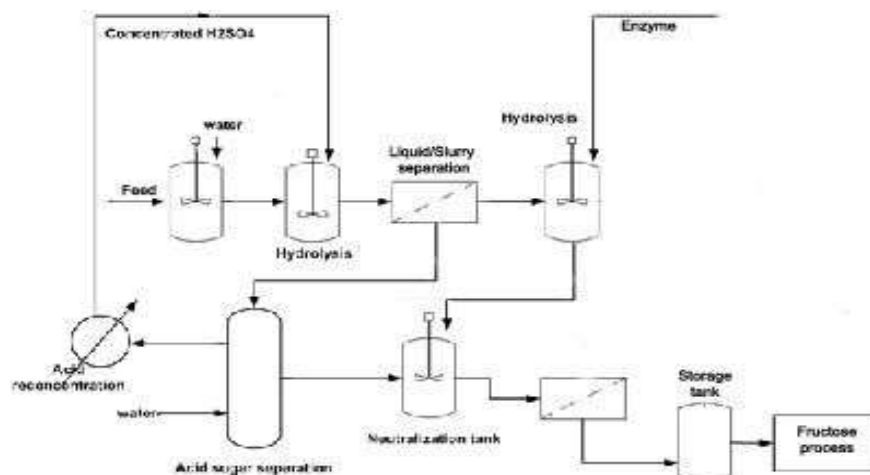
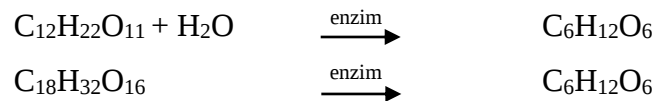
Hidrolisis dengan menggunakan asam (*preliminary*) dan enzim (*secondary*) menyebabkan *range* nilai DE naik turun. Setelah hidrolisis dengan asam (*preliminary*) temperature diturunkan dan pH dinaikkan. DE yang lebih tinggi menurunkan yield glukosa selama hidrolisis dengan enzim (keberadaan asam menghambat konversi enzimatik), sementara dengan DE lebih rendah dari 10 dapat menyebabkan *starch retrogradation* yang dapat menyebabkan permasalahan dalam proses penguraian. Jika kandungan glukosa maksimum bukan merupakan tujuan, nilai DE yang lebih tinggi biasanya dipilih dan sirup dapat diuraikan dengan cepat setelah hidrolisis asam tanpa menghilangkan komponen tidak terlarut selama konversi enzimatik. Jika komponen tidak terlarut dihilangkan, hidrolisis asam tidak diperlukan karena hidrolisis asam dapat dikonversi secara enzimatik secara kontinyu.

Reaksi yang terjadi pada hidrolisis pati dengan asam-enzim adalah sebagai berikut.

Reaksi dengan asam (*preliminary*):



Reaksi dengan enzim (secondary):

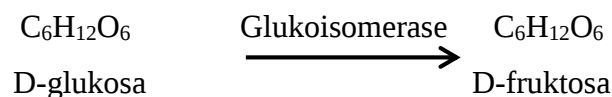


Gambar 1.4 Flowsheet Hidrolisis Asam-Enzim

2. Proses isomerasi glukosa menjadi fruktosa

Proses isomerasi glukosa menjadi fruktosa dilakukan dengan penambahan enzim glukoisomerase.

Persamaan reaksi :



Proses isomerasi di atas dideskripsikan secara rinci pada bab 2 skripsi ini.

1.2.3 Kegunaan Produk Fruktosa

HFS dapat digunakan secara parsial ataupun menyeluruh sebagai pengganti gula tebu (*sucrose*) atau gula *inverse* pada makanan yang dapat menghasilkan rasa manis dan dapat meningkatkan cita rasa. Selain itu HFS digunakan pada industri minuman (*soft drink*), industri kue, manisan, industri makanan, produk susu, bahan produk farmasi dan lain-lain.

Penggunaan HFS mempunyai fungsi sebagai berikut:

a. Freezing Point

Fruktosa mempunyai *freezing point* yang tinggi. Ini menjadi alasan penggunaan fruktosa sebagai pemanis pada makanan-makanan beku seperti *yogurt*

beku dan *ice cream*. *Freezing point* yang tinggi pada fruktosa membuat produk mempunyai tekstur yang halus.

b. *Fruit Flavor*

Fruktosa disebut juga dengan gula buah karena ketika digunakan pada produk akan memberikan rasa buah seperti pada *fruit flavored yogurt*.

c. *Glycemic Index* rendah

Fruktosa mempunyai *glycemic index* yang rendah yang menyebabkan makanan atau produk mempunyai *glycemicload* yang rendah. *Glycemicload* adalah jumlah yang menunjukkan bagaimana makanan atau produk tertentu akan mempengaruhi kadar gula darah.

d. Stabilator

Fruktosa mempunyai kestabilan yang tinggi dan digunakan untuk meningkatkan cita rasa produk yang mempunyai stabilitas yang tinggi.

1.2.4 Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku dan Produk

1. Bahan Baku

a) Tepung Tapioka

Sifat Fisik (Perry, 1997)

Formula	: $(C_6H_{10}O_5)_{1000}$
Berat Molekul	: 162000
<i>Specific gravity</i>	: 1,50 mul

Sifat Kimia (Hendriani, 2018)

Karakteristik sifat kimia tepung tapioka terbaik yaitu pada varietas ketan kulit merah dengan keunggulan kadar air 14.15%, kadar abu 0.63%, kadar pati 86%, amilosa 11.80 % dan amilopektin 73.33%, dan kualitas tepung tapioka telah memenuhi standar SNI tepung tapioka.

b) Enzim α -amilase (Uhlig, 1998)

- Nama : Optitherm-L 420 [SOEG] atau Taka-Therm [SOE]
- Fase : Cair
- Berat molekul : 28.000 dalton
- Energi aktivasi : $5,1 \times 10^5$ J/mol

- Kofaktor : Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} aktif
- Aktivitas : Pada konsentrasi 30-40% *slurry* pati, temperatur reaksi hingga 110°C
- Inhibitor : NO_3^- , F^- , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, MoO_4^-
- Inaktivasi : pH 3,5-4,0 dan inkubasi selama 5-30 menit pada 90°C
- Lama operasi : 2-3 jam
- pH operasi : 6,3 - 6,5
- Dosis : 0,5 – 0,8 liter/ton pati

c) Enzim Glukoamilase (Uhlig, 1998)

- Nama : Optidex-L 300 [SOEG] atau Diazyme-L [SOE]
- Fase : Cair
- Dosis : 0,6 – 0,7 liter/ton pati
- Densitas : 1,25 gr/ml
- Suhu optimal : 60°C
- Lama operasi : 48 - 72 jam
- pH optimum : 4,0

d) Enzim Glukoisomerase (Uhlig, 1998)

- Nama : Sweetzyme (*Bacillus coagulans*),
- Bentuk : granular
- Suhu optimal : $60 - 65^\circ\text{C}$
- Lama operasi : 15 menit
- pH optimal : 8,0 – 8,5
- Dosis : 1 g/kg glukosa
- Densitas : 0,33 kg/L
- Aktivator : ion Mg^{2+} ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- Inhibitor : ion Ca^{2+}
- Stabilisator : Co^{2+} , SO_3^-

e) Hydrogen Chloride (HCl)

Sifat Fisik (Perry, 1997)

Berat molekul	: 36,47 g/mol
Densitas	: 1,268 kg/L
Titik didih	: -85°C
Titik lebur	: -111°C

Sifat Kimia (Greenwood, et.al. 1997)

- Bersifat volatil
- Merupakan asam kuat
- Larut dalam air
- Mudah mengembun
- Dapat teroksidasi oleh oksidator kuat

f) Calcium Chloride (CaCl₂)**Sifat Fisik** (Perry, 1997)

Berat molekul	: 110,99 g/mol
Densitas	: 2,152 kg/L
Titik didih	: >1600°C
Titik lebur	: 772°C

Sifat Kimia (Patnaik, 2003)

- Bersifat higroskopis
- Larut dalam asam asetat, etanol, dan aseton
- Larutan, tidak seperti senyawa kalsium lainnya yang tidak dapat larut
- Kalsium klorida dapat berdisosiasi
- Mempunyai rasa seperti garam sehingga dapat digunakan sebagai bahan untuk makanan.

g) Sodium Hydroxide (NaOH)**Sifat Fisik** (Perry, 1997)

Berat molekul	: 40.00 g/mol
Densitas	: 2,130 kg/L

Titik didih : 1390°C
 Titik beku : 318,4 °C

Sifat Kimia (Patnaik, 2003)

- Sebagai agen titrasi asam-basa
- Higroskopis
- Sangat korosif
- Cepat menyerap CO₂ dan air dari udara
- Sangat larut dalam air (110 g / 100 mL pada suhu kamar)

h) Magnesium Sulfat (MgSO₄)

Sifat Fisik (Perry, 1997)

Berat molekul : 120,38 g/mol
 Densitas : 2,66 kg/L
 Titik beku : 1185°C

Sifat Kimia (Patnaik, 2003)

- Larut dalam air, aseton dan sedikit larut dalam eter
- Merupakan garam anhidrat

2. Produk atau Syrup Fruktosa (International Starch Institute, 2015)

Campuran glukosa, fruktosa, dan sejumlah kecil oligosakarida dikenal secara komersial sebagai *High Fructose Syrup* (HFS). Tiga kategori HFS pada umumnya: HFS-90, HFS 42, dan HFS 55. Proses isomerisasi umumnya hanya dilakukan sampai diperoleh HFS-42.

Diantara jenis-jenis gula yang dapat terbuat dari pati, sirup fruktosa dengan kandungan fruktosa yang berkisar 42-90% merupakan alternative yang cukup menarik karena :

- Fruktosa lebih manis dibandingkan gula-gula lain dan kemanisnya bersifat sinergis, terutama dengan sukrosa dan siklamat.

- Mudah mengalami reaksi pencoklatan karena fruktosa merupakan gula pereduksi yang paling efektif terhadap asam amino. Fruktosa lebih mudah terkaramelisasi karena titik didihnya lebih rendah.
- Fruktosa lebih mudah terkristalisasi.
- Viskositasnya lebih rendah sehingga mudah dilarutkan atau dicampurkan dengan pemanis lain.

Sifat Fisik dan kimia HFS-42

- Fase : Cair
- Warna : Bening kekuningan
- Rumus Molekul : $C_6H_{12}O_6$ atau $CH_2OH(CHOH)_3COCH_2OH$
- Berat Molekul : 180,16 g/mol
- Viskositas : 160 cP

1.3 Penentuan Kapasitas Rancangan

a. Data Perkiraan Kebutuhan HFS di Indonesia

Dalam menentukan kapasitas perancangan dapat ditinjau dari beberapa pertimbangan, antara lain:

a. Demand

1) Ekspor

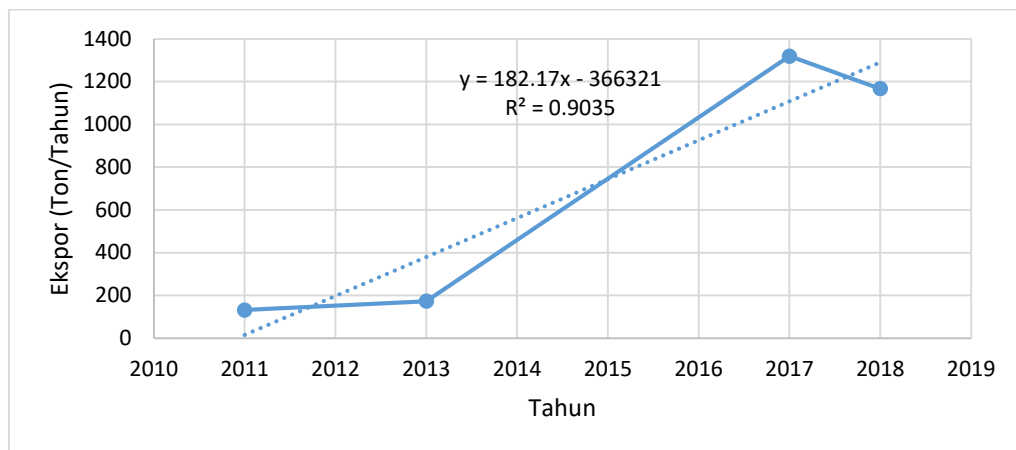
Data statistik yang diterbitkan Badan Pusat Statistik (BPS) tentang kebutuhan ekspor HFS di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan. Perkembangan data ekspor akan HFS di Indonesia dapat dilihat pada tabel 1.3.

Tabel 1.3 Ekspor HFS

Tahun	Ekspor (Ton/Tahun)
2011	131,755
2013	172,742
2017	1.319,37
2018	1.167,3

Sumber : Data BPS Tahun 2020

Dari data ekspor diatas dapat dibuat grafik linear antara data tahun pada sumbu x dan data ekspor di sumbu y. Grafik dapat dilihat pada gambar 1.5.



Gambar 1.6 Grafik Ekspor HFS

Perkiraan ekspor HFS di Indonesia pada tahun yang akan datang saat pembangunan pabrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $y = 182,17x - 366.321$. Dengan persamaan diatas, maka dapat diperkirakan untuk tahun 2025 kebutuhan ekspor HFS di Indonesia sebesar:

$$y = 182,17x - 366.321$$

$$y = 182,17(2025) - 366.321$$

$$y = 2.573,25 \text{ ton/tahun}$$

2) Konsumsi dalam Negeri

Data statistik yang diterbitkan Badan Pusat Statistik (BPS) tentang kebutuhan konsumsi dalam negeri HFS di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan. Perkembangan data konsumsi dalam negeri akan HFS di Indonesia dapat dilihat pada tabel 1.4.

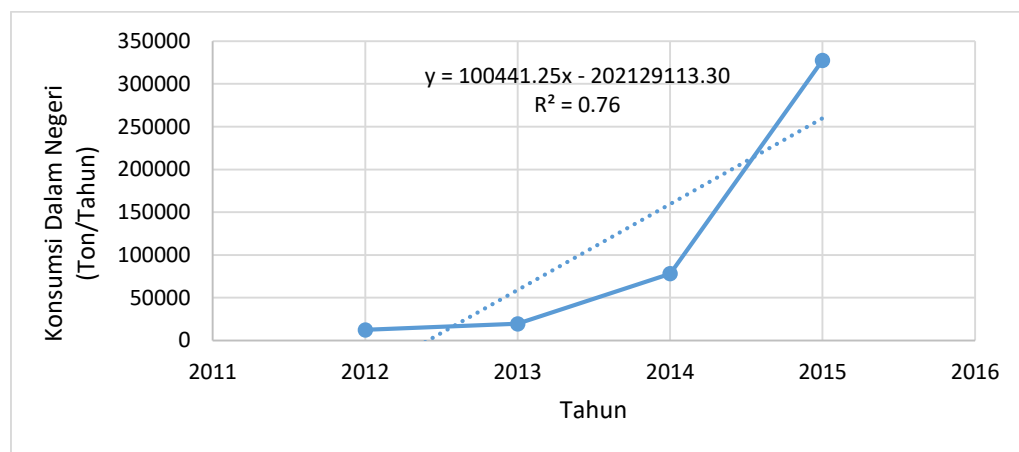
Tabel 1.4 Konsumsi HFS dalam Negeri

Tahun	Konsumsi dalam Negeri (Ton/Tahun)
2012	12.284,99
2013	19.458,543
2014	78.071,059

2015	327.551,648
------	-------------

Sumber : Data BPS Tahun 2020

Dari data konsumsi dalam negeri diatas dapat dibuat grafik linear antara data tahun pada sumbu x dan data konsumsi dalam negeri di sumbu y. Grafik dapat dilihat pada gambar 1.7.



Gambar 1.7 Grafik Konsumsi dalam Negeri HFS

Perkiraan konsumsi dalam negeri HFS di Indonesia pada tahun yang akan datang saat pembangunan pabrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $y = 100.441,25x - 202.129.113,30$. Dengan persamaan diatas, maka dapat diperkirakan untuk tahun 2025 kebutuhan konsumsi dalam negeri HFS di Indonesia sebesar:

$$y = 100.441,25x - 202.129.113,30$$

$$y = 100.441,25(2025) - 202.129.113,30$$

$$y = 1.264.417,95 \text{ ton/tahun}$$

$$\begin{aligned} \text{Demand} &= \text{Ekspor} + \text{konsumsi dalam negeri} \\ &= (2.573,25 + 1.264.417,95) \text{ ton/tahun} \\ &= 1.266.991,2 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

b. *Supply*

1) Impor

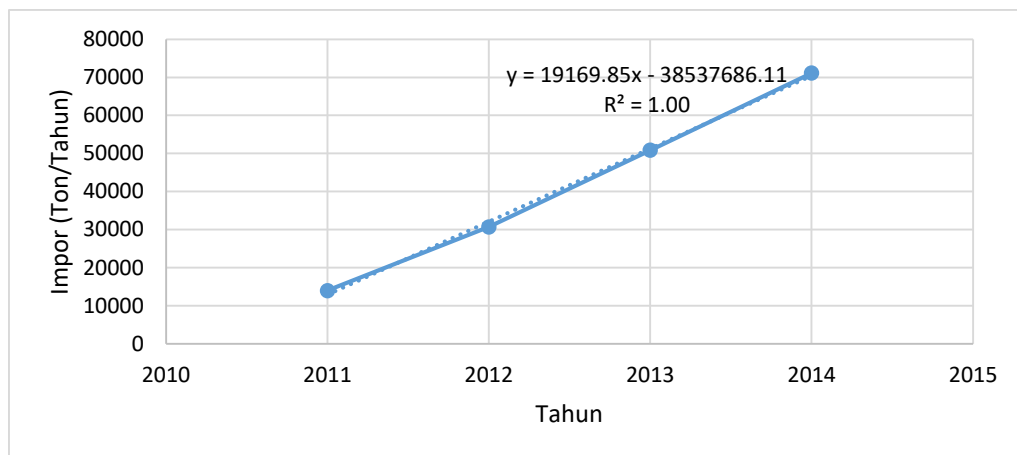
Data statistik yang diterbitkan Badan Pusat Statistik (BPS) tentang kebutuhan impor HFS di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan. Perkembangan data impor akan HFS di Indonesia dapat dilihat pada tabel 1.5.

Tabel 1.5 Impor HFS

Tahun	Impor (Ton/Tahun)
2011	13.936,001
2012	30.678,266
2013	50.850,526
2014	71.111,426

Sumber : Data BPS Tahun 2020

Dari data impor diatas dapat dibuat grafik linear antara data tahun pada sumbu x dan data impor di sumbu y. Grafik dapat dilihat pada gambar 1.8.



Gambar 1.8 Grafik Impor HFS

Perkiraan impor HFS di Indonesia pada tahun yang akan datang saat pembangunan pabrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $y = 19.169,85x - 38.537.686,11$. Dengan persamaan diatas, maka dapat diperkirakan untuk tahun 2025 kebutuhan impor HFS di Indonesia sebesar:

$$y = 19.169,85x - 38.537.686,11$$

$$y = 19.169,85(2025) - 38.537.686,11$$

$$y = 281.260,14 \text{ ton/tahun}$$

2) Produksi

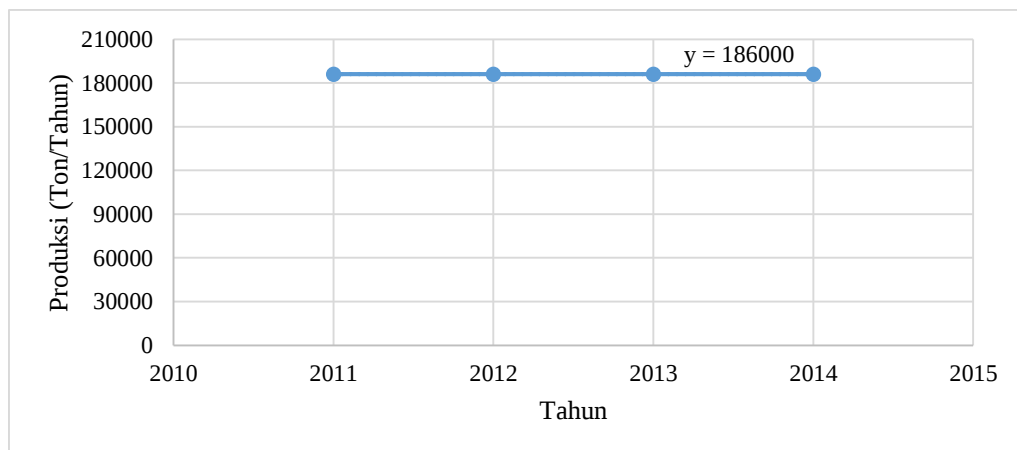
Data statistik yang diterbitkan Badan Pusat Statistik (BPS) tentang kebutuhan produksi HFS di Indonesia dari tahun ke tahun cenderung stabil. Perkembangan data produksi akan HFS di Indonesia dapat dilihat pada tabel 1.6.

Tabel 1.6 Produksi HFS

Tahun	Produksi (Ton/Tahun)
2011	186.000
2012	186.000
2013	186.000
2014	186.000

Sumber : Data BPS Tahun 2020

Dari data produksi diatas dapat dibuat grafik linear antara data tahun pada sumbu x dan data produksi di sumbu y. Grafik dapat dilihat pada gambar 1.9.



Gambar 1.9 Grafik Produksi HFS

Berdasarkan grafik linear diatas, dapat diketahui bahwa produksi dari tahun ke tahun sama atau stabil sehingga perkiraan produksi HFS di tahun 2025 adalah 186.000 ton/tahun.

$$\begin{aligned}
 \text{Supply} &= \text{Impor} + \text{produksi} \\
 &= (281.260,14 + 186.000) \text{ ton/tahun} \\
 &= 467.760,14 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan kebutuhan HFS di Indonesia

Berdasarkan data proyeksi ekspor, konsumsi dalam negeri, impor, dan produksi pada tahun 2025 yakni rencana pembangunan pabrik HFS. Maka, peluang pasar untuk HFS dapat ditentukan kapasitas pra rancangan pabrik sebagai berikut:

$$\text{Peluang} = \text{Demand} - \text{supply}$$

$$= (\text{Ekspor} + \text{konsumsi dalam negeri}) - (\text{impor} + \text{produksi})$$

$$= (1.266.991,2 - 467.760,14) \text{ ton/tahun}$$

$$= 799.731,06 \text{ ton/tahun}$$

Kapasitas pabrik HFS yang akan didirikan diambil 5% dari peluang yakni:

$$\text{Kapasitas pra rancangan} = 5\% \times 799.731,06 \text{ ton/tahun}$$

$$= 39.986.553 \text{ ton/tahun}$$

Dari data dan hasil perhitungan pra rancangan pabrik HFS ini akan dibangun dengan kapasitas sebesar 40.000 ton/tahun, sesuai data pada tabel 1.7 kapasitas tersebut telah memenuhi kapasitas ekonomis. Selain itu, agar tidak mendominasi pabrik HFS di Indonesia karena produksi maksimal HFS di Indonesia adalah 40% dari jumlah kebutuhan total (Pratiwi, 2018).

c. Kapasitas Komersial

Penentuan kapasitas pabrik fruktosa juga didasarkan pada pabrik HFS yang telah berdiri di berbagai Negara, seperti Amerika dan Jepang dan juga pabrik HFS yang telah berdiri di Indonesia seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 1.7 Produsen Fruktosa di Indonesia

No.	Produsen Fruktosa	Kapasitas (Ton/Tahun)
1	PT Associated British Budi	21.600
2	PT Budi Starch & Sweetener Tbk	72.000
3	PT Raya Sugarindo Inti	7.200
4	PT Saritani Nusantara	7.200
5	PT Tainesia Nusantara	18.000
6	PT Tereos FKS Indonesia	60.000

Sumber: BPS, 2020

Dengan melihat pertimbangan pabrik HFS sudah didirikan dengan kapasitas 7.200-72.000 ton/tahun, maka kapasitas produksi yang direncanakan pada pabrik ini di tahun 2025 sebesar 40.000 ton/tahun telah dikatakan ekonomis. Dimana dengan kapasitas tersebut diharapkan:

1. Memenuhi kebutuhan dalam negeri yang akan terus meningkat
2. Memberikan kesempatan bagi berdirinya industri-industri yang menggunakan fruktosa sebagai bahan baku, seperti industri produk madu, permen, *coca-cola*, sirup, jelly, roti, minuman isotonik dan *soft drink*, obat diet, dll.
3. Menghemat devisa Negara yang cukup besar karena berkurangnya impor fruktosa dan mengurangi ketergantungan terhadap negara lain.

1.4. Pemilihan Lokasi Pendirian Pabrik

Letak geografis dari suatu pabrik akan mempengaruhi kegiatan pabrik tersebut, baik terhadap proses produksinya maupun distribusi produknya. Sehingga, perkembangan dan kelangsungan hidup pabrik tersebut akan terpengaruh juga. Banyak faktor yang harus diperhatikan dan dipertimbangkan dalam menentukan lokasi suatu pabrik. Lokasi pabrik pada umumnya ditetapkan atas dasar orientasi bahan baku dan orientasi pasar karena hal ini bersifat ekonomis.

Pabrik fruktosa ini direncanakan dibangun di Provinsi Lampung lebih tepatnya di daerah Tulang Bawang Barat yang lokasi dapat dilihat pada gambar 1.10. Daerah ini merupakan daerah kawasan industri, dimana banyak pabrik-pabrik industri yang telah berdiri di kawasan ini. Oleh karena itu, daerah ini merupakan tempat yang strategis untuk dijadikan sebagai lokasi pendirian pabrik fruktosa.



Gambar 1.10 Peta Lokasi Pabrik HFS di Tulang Bawang

Pemilihan lokasi pabrik fruktosa ini sendiri melalui pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:

1. Ketersediaan bahan baku

Lokasi penyedia bahan baku yakni tepung tapioka kebanyakan berlokasi dekat dengan pabrik yang direncanakan dibangun seperti yang tertera pada tabel 1.8 Lokasi ini merupakan lokasi yang paling strategis dan ekonomis dalam pengadaan bahan baku.

Tabel 1.8 Perusahaan Penghasil Tepung Tapioka di Kawasan Tulang Bawang

Nama Perusahaan	Alamat	Kapasitas (Ton/Tahun)
PT Eka Inti Tapioka	Desa Bumi Nabung Timur, Kec. Rumbia Kab. Lampung Tengah	37.500
PT Wira Tapioka Mandiri	Desa Sri Kencoro, kec. Rumbia Kab. Lampung Tengah	75.000
PT Budi Acid Jaya	Desa GnBatin Udik, Kec. Terbanggi Kab. Lampung Tengah	75.000
PT Umas Jaya Agrotama	Kec. Terbanggi Besar Km 77 Lampung Tengah	34.000
PT Great Giant Pine	Desa Tanjung Ratu Ilir, Kec. Terbanggi Besar Lampung Tengah	34.000
Total		255.500

Sumber: mnrz, 2014

2. Sarana transportasi

Lokasi Bujung Sari Marga yang dekat dengan sungai dan konstruksi jalan yang cukup baik sehingga lokasi ini dapat mudah dijangkau oleh transportasi darat.

3. Tenaga kerja

Tersedianya tenaga kerja yang terampil juga diperlukan untuk menjalankan mesin-mesin produksi. Tenaga kerja dapat direkrut dari daerah Lampung dan sekitarnya di pulau Sumatera atau juga dapat pula dari berbagai daerah di Indonesia dengan mengutamakan putra-putri daerah setempat sebagai tenaga kerja.

4. Penyediaan utilitas

Utilitas seperti kebutuhan air dipasok dari Sungai Tulang Bawang. Sementara itu, untuk kebutuhan listrik diperoleh dari sumber pembangkit listrik PLTA Way Semangka maupun swasta yang berada disekitar pabrik.

BAB X KESIMPULAN

Dari uraian proses pabrik HFS dari tepung tapioka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kapasitas pabrik HFS berbahan baku tepung tapioka adalah 40.000 ton/tahun.
2. Bahan baku yang digunakan adalah tepung tapioka dengan kebutuhan tepung tapioka sebesar 2.451,33 ton/tahun.
3. Lokasi pendirian pabrik HFS berbahan baku tepung tapioka direncanakan di Kabupaten Tulang Bawang Barat Provinsi Lampung dengan mempertimbangkan persediaan bahan baku, persediaan air, tenaga kerja, dan sarana transportasi.
4. Proses pembuatan HFS berbahan baku tepung tapioka terdiri atas beberapa tahap, yaitu:
 - a. Tahap pembentukan sirup glukosa dari tepung tapioka
 - b. Tahap isomerasi sirup glukosa menjadi sirup fruktosa
 - c. Tahap penyelesaian
5. Untuk mendirikan pabrik HFS kapasitas 40.000 ton/tahun berbahan baku tepung tapioka diperlukan:
 - Total modal investasi sebesar Rp306.625.050.824
 - Total biaya produksi sebesar Rp851.490.196.522

- Hasil penjualan per tahun sebesar Rp1.000.000.000.000

Dengan estimasi umur pabrik 10 tahun dan waktu pengembalian pinjaman selama 3 tahun, dapat diketahui IRR sebesar 12% dan BEP sebesar 14,99%.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. 2016. Produksi Ubi kayu di Indonesia. <https://www.bps.go.id/> diakses pada tanggal 15 Juni 2020.
- Badan Pusat Statistik. 2020. Data Ekspor, Impor, Kebutuhan, dan Produksi HFS di Indonesia. <https://www.bps.go.id/> diakses pada tanggal 15 Juni 2020.
- Berghmans, E. and N.H. Aschengreen dalam P. Koivistoinen dan L. Hyvonen. 1980. *Starch Hydrolysates : Improved Sweeteners Obtained by the Use of Enzymes, Carbonhydrate Sweeteners in Food and Nutrition*. London: Academic Press.
- Brown, G.G. 1950. *Unit Operation*. New York: John Wiley and Sons.
- Brownell, L.E. and Young, E.H. 1959. *Process Equipment Design 3rd edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Coulson, J.M. and Richardson, J.F. 1983. *Chemical Engineering Volume 6*. Oxford: Pergamon Press..
- Coulson, J.M. and Richardson, J.F. 1999. *Chemical Engineering Volume 2 5th edition*. Oxford: Butterworth Heinemann.
- Dean, J.A. 1952. *Lange's Handbook of Chemistry 15th edition*. New York: McGraw-hill, Inc.
- Direktorat Gizi. 2003. Daftar Komposisi Tepung Tapioka. Depkes RI.
- Fakhrur, R. dan Maisarah, N.M. 2020. Pra Desain Pabrik Sorbitol dari Tepung Tapioka dengan Hidrogenasi Katalitik. *Skripsi: Jurusan Laboratorium Teknologi Biokimia Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember*. <https://www.its.ac.id/> diakses pada tanggal 30 Desember 2020.

- Food and Agricultural Organization (FAO). 2017. *Detail Trade Matrix*. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/TM> diakses pada tanggal 15 Juni 2020.
- Geankoplis, C.J. 1993. *Transport Processes and Unit Operation 3rd edition*. New York: Allyn & Bacon.
- Geankoplis, C.J. 2003. *Transport Processes and Unit Operation 4th edition*. New Jersey: Prentice Hall International.
- Greenwood, N.N. and A. Earnshaw. 1997. *Chemistry of The Elements 2nd edition*. London: Butterworth Heinemann.
- Hendriani. 2018. Karakteristik Sifat Fisik dan Kimia Tepung Tapioka Berbagai Varietas Singkong (*Manihot Esculenta Crantz.*) di Tanah Regosol. *Skripsi: Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*. <http://repository.umy.ac.id/> diakses pada tanggal 15 Maret 2020.
- Hougen, O.A. & Watson, K.M. 1954. *Chemical Process Principles 2nd edition part II*. New York: John Willey and Sons Inc.
- Hugot, E. 1986. *Handbook of Cane Sugar Engineering 3rd edition*. Amsterdam: Elsevier.
- International Starch Institue. 2015. *Product of Starch Flour*. <http://www.starch.dk/isi/profile/home.asp> diakses pada tanggal 05 Februari 2021.
- ITPC Kanada. 2017. Market Brief – ITPC Vancouver 2017: Peluang Ekspor Produk Tepung Tapioka di Pasar Kanada. <https://www.itpcvancouver.com/> diakses pada tanggal 15 Juni 2020.
- Kern, D.Q. 1983. *Process Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Lehniger, A.L. 1990. *Dasar-dasar Biokimia* Terjemahan oleh Awidjaja. Jilid I. Jakarta: Erlangga.
- Ludwig, E.E. 1964. *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants Volume 3*. Boston: Gulf Publishing Company.
- Matche. 2021. Equipment Cost. <https://www.matche.com/> diakses pada tanggal 15 Agustus 2021.
- McCabe, W.L., Smith, J.C. and Harriot, P. 1985. *Unit Operation of Chemical Engineering 5th edition*. Singapore: Mc. Graw Hill Book Co.
- Mnrz. 2014. Perusahaan Pengolahan Ubi Kayu. <https://www.scribd.com/doc/201120646/Perusahaan-Pengolahan-Ubikayu> diakses pada tanggal 02 Agustus 2020.
- Muljoharjo, M. 1997. *Teknologi Pengolahan Pati*. Yogyakarta: UGM Press.

- Noerwijati, S.K. & Mejaya, I.M.J. 2015. Penampilan Tujuh Klon Harapan Ubi Kayu di Lahan Kering Masam. In : Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi Tahun 2015. Bogor: s.n., pp. 521-527.
- Patnaik dalam Yeny Indra Nurita Sari. 2003. Prarancangan Pabrik High Fructose Syrup dari Tepung Tapioka Kapasitas Produksi 100.000 Ton/Tahun. *Skripsi: Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta* <http://eprints.ums.ac.id/47436/> diakses pada tanggal 01 Februari 2020.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2017. No.32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam renang, *Solus Per Aqua*, dan Pemandian Umum.
- Perry, R.H. and Green, D. 1984. *Perry's Chemical Engineer Handbook 6th edition*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Perry, R.H. and Green, D. 1997. *Perry's Chemical Engineer Handbook 7th edition*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Peter, M.S. and Timmerhause, K.D. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 4th edition*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Peter, M.S. and Timmerhause, K.D. 2003. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 5th edition*. New York: McGraw-Hill Book company.
- Powell, S.T. 1954. *Water Conditioning for Industry*. New York: MC Graw Hill Book Company.
- Pratiwi, R.I., 2018. Pra Rancangan Pabrik Fruktosa dari Tepung Tapioka dengan Proses Hidrolisis Menggunakan Enzim Kapasitas 33.000 Ton/Tahun (Perancangan Reaktor Sakarifikasi-301). *Skripsi: Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung Bandar Lampung*. <http://eng.unila.ac.id/> diakses pada tanggal 05 Februari 2020.
- Purba, D.S., 2016. Pra Rancangan Pabrik Fruktosa dari Tepung Tapioka dengan Proses Hidrolisis Menggunakan Enzim Kapasitas 33.000 Ton/Tahun (Tugas Khusus Perancangan Evaporator-501). *Skripsi: Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung Bandar Lampung*. <http://eng.unila.ac.id/> diakses pada tanggal 05 Februari 2020.
- Radiyah dalam Rachman, I.D.P. 2012. Studi Pembuatan “Tapioca Fermented Flour” (TFF) dengan Fermentasi Alami dan Penambahan Inokulum. *Skripsi: Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin Makassar*. <http://itp.agritech.unhas.ac.id/> diakses pada tanggal 31 Januari 2020.
- Rase, H.F., and Holmes, J.R. 1977. *Chemical Reactor Design for Process Plant Volume I : Principles and Techniques*. New York: John Wiley and Sons, Inc.

- Richana, Nur. 2006. *Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian Volume 28 Nomor 3*. Bogor: Bali Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian.
- Smith, J.M. and Van Ness, H.C. 1996. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics 5th edition*. Singapore: Mc. Graw Hill Book Company.
- Tjokroadikoesoemo, P.S. 1986. *HFS dan Industri Ubi Kayu Lainnya*. Jakarta: PT Gramedia,
- Uhlig, 1998, *Industrial Enzymes and Their Applications*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Ulrich, G.D. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Wallas, S.M. 1988. *Chemical Process Equipment*. Stoneham USA: Butterworth Publishers.

