

PERANCANGAN DAN UJI COBA ALAT EVAPORATOR NIRA AREN

Laporan Penelitian LPPM

disusun oleh :

- 1. Jenny Novianti M. Soetedjo , ST, MSc**
- 2. Prof. Dr. Ign. Suharto, Ir. APU**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2009**

INTISARI

Gula aren adalah salah satu jenis produk pangan yang telah dikenal sebagai bahan pelengkap pada berbagai produk pangan dan bahan campuran pada obat tradisional atau *healthy sugar*. Gula aren merupakan produk hasil evaporasi nira aren yang diperoleh dari penyadapan bunga dari pohon aren yang banyak tumbuh di Indonesia. Sayangnya potensi yang besar dari gula aren ini terbentur oleh kendala kualitas yang berada di bawah standar mutu dan berujung penolakan dari industri terhadap gula aren lokal. **Tujuan** dari penelitian ini adalah untuk merancang dan menguji coba alat evaporator silinder horizontal dan mempelajari pengaruh faktor kecepatan pengadukan dan bahan pengawet natrium bisulfit terhadap kualitas gula aren yang dihasilkan. **Manfaat** penelitian adalah untuk meningkatkan kualitas gula aren yang dihasilkan sehingga memenuhi standar mutu nasional atau SNI.

Metode penelitian ini terbagi menjadi 4 tahap yaitu tahap perancangan, tahap konstruksi alat, tahap instalasi alat dan tahap uji coba terhadap hasil konstruksi alat yang telah dibuat. Pada tahap perancangan dilakukan pemilihan tipe dan perhitungan kapasitas dari komponen-komponen alat, seperti jenis dan ukuran tabung evaporator, pengaduk, motor penggerak; serta perkiraan kebutuhan energi teoritis. Pada tahap konstruksi dan instalasi alat dilakukan pembuatan, pemasangan komponen serta perbaikan bentuk dan ukuran sehingga alat dapat berjalan baik pada kondisi kosong dan dengan penambahan air. Sedangkan pada tahap uji coba, alat diisi dengan nira aren, lalu dilakukan pengamatan terhadap efisiensi alat serta pengaruh kecepatan pengadukan dan penambahan pengawet pada kualitas gula aren yang dihasilkan.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah efisiensi aktual alat bervariasi dan masih rendah yaitu 52,96 – 82,47%; penambahan pengawet natrium bisulfit sebesar 10 ppm mengakibatkan proses evaporasi berjalan lebih cepat dibandingkan tanpa bahan pengawet; dan penambahan pengawet tersebut tidak memberikan perbedaan rasa dan aroma yang nyata terhadap gula aren yang dihasilkan. **Saran** yang dapat diberikan untuk alat evaporator adalah perlunya penggantian tipe pembakar yang digunakan, penambahan insulasi di sekitar tabung evaporator, dan penambahan *termocouple* dan *gas flow rate controller* untuk meningkatkan efisiensi alat. Sedangkan saran untuk variabel yang diamati pada saat uji coba alat adalah perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penambahan pengawet terhadap laju evaporasi dan *shelflife* dari gula aren yang dihasilkan.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
INTISARI	viii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Tema sentral masalah	2
1.3 Identifikasi masalah	2
1.4 Premis-premis	3
1.5 Hipotesis	3
1.6 Tujuan penelitian	3
1.7 Manfaat penelitian	4
1.8 Pembatasan masalah	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Aren..	5
2.1.1 Tanaman Aren.....	5
2.1.1.1 Klasifikasi Tanaman Aren.....	5
2.1.1.2 Bagian-bagian Tanaman Aren dan Kegunaannya.....	6
2.1.2 Nira Aren.....	8
2.1.3 Gula Aren.....	9
2.2 Pengolahan Gula Aren.....	11
2.2.1 Pengolahan Gula Aren Secara Tradisional	11
2.2.2 Pengolahan Gula Aren Dengan Evaporator	13
2.3 Evaporasi.....	14
2.3.1 Jenis-jenis evaporator.....	15
2.3.1.1 Jenis-jenis evaporator secara umum.....	15
2.3.1.2 Jenis-jenis evaporator berdasarkan metode operasinya.....	19
2.4 Bahan bakar LPG (<i>Liquified Petroleum Gas</i>).....	20
2.5 Perpindahan panas.....	23
2.5.1 Perpindahan panas secara konveksi	24
2.5.2 Perpindahan panas secara radiasi.....	24
2.6 Perancangan kekuatan motor listrik.....	26
BAB 3 RANCANGAN ALAT, BAHAN DAN METODE	35

3.1 Gambar rancangan alat.....	35
3.2 Bahan penelitian	36
3.2.1 Bahan baku	36
3.2.2 Bahan analisis	36
3.2.2.1 Bahan analisis untuk uji kadar air... ..	36
3.2.2.2 Bahan analisis untuk uji kadar gula.....	36
3.3 Peralatan	37
3.3.1 Peralatan utama	37
3.3.2 Peralatan analisis	37
3.3.2.1 Peralatan analisis untuk uji kadar air.	37
3.3.2.2 Peralatan analisis untuk uji kadar gula.....	37
3.4 Metode penelitian	38
3.4.1 Tahap Perancangan dan Konstruksi Alat Evaporator Nira Aren.....	39
3.4.2 Tahap Instalasi dan Uji Coba Alat Evaporator Nira Aren.....	40
3.5 Skema prosedur percobaan.....	40
3.6 Analisa kimia	42
3.7 Uji Organoleptik.....	42
3.8 Lokasi dan Jadwal Kerja	43
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.. ..	44
4.1 Hasil konstruksi alat evaporator.....	44
4.2 Perancangan pengaduk dan kekuatan motor listrik.....	46
4.3 Perancangan tabung evaporator.....	48
4.4 Kebutuhan kalor teoritis ($Q_{total\ teoritis}$).....	48
4.5 Kebutuhan bahan bakar teoritis.....	49
4.6 Kebutuhan bahan bakar aktual.....	50
4.7 Efisiensi alat aktual.....	51
4.8 Perbandingan efisiensi alat teoritis dan efisiensi alat aktual.....	51
4.9 Uji coba.....	52
4.9.1 Analisis kadar air	52
4.9.2 Analisis kadar gula.....	55
4.9.3 Analisis uji organoleptik.....	57
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.. ..	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN A PROSEDUR KERJA DAN ANALISIS.....	63
LAMPIRAN B PEMBUATAN REAGENSIA	67
LAMPIRAN C DATA LITERATUR.....	68
LAMPIRAN D CONTOH PERHITUNGAN	71
LAMPIRAN E MATERIAL SAFETY DATA SHEET	79
LAMPIRAN F TABEL DATA UJI ORGANOLEPTIK	84

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Perkembangan perkebunan aren nasional Indonesia	1
Tabel 2.1	Klasifikasi aren (<i>arenga pinnata</i>).....	5
Tabel 2.2	Tabel analisis nutrisi nira aren.....	9
Tabel 2.3	Ciri-ciri nira.....	9
Tabel 2.4	Tabel analisis nutrisi gula aren	10
Tabel 2.5	Syarat mutu gula aren.....	11
Tabel 2.6	Perbandingan daya pemanasan bahan bakar.....	21
Tabel 2.7	Nilai F_d	27
Tabel 2.8	Nilai F_b	27
Tabel 2.9	Nilai F_f	28
Tabel 2.10	Nilai F_p	28
Tabel 2.11	Nilai F_o	28
Tabel 2.12	Nilai F_m	29
Tabel 2.13	Nilai e	30
Tabel 2.14	Tabel kapasitas <i>horizontal screw conveyor</i>	30
Tabel 3.1	Matriks variasi percobaan dalam penelitian.....	42
Tabel 3.2	Penilaian Uji Organoleptik.....	43
Tabel 3.3	Jadwal Kerja	43
Tabel 4.1	Hasil analisis uji kadar air.....	52
Tabel 4.2	Hasil analisis uji kadar gula.....	55
Tabel 4.3	Penilaian sampel.....	57
Tabel C.1	Data fisik air pada 1 atm 25°C.....	68
Tabel C.2	Data fisik air pada 1 atm 100°C.....	68
Tabel C.3	Data fisik air pada 1 atm 110°C.....	68
Tabel C.4	Data fisik sukrosa pada 1 atm 25°C.....	69
Tabel C.5	Data fisik gas propana pada 4 kg/cm ³	69
Tabel C.6	Data fisik gas butana pada 4 kg/cm ³	69
Tabel C.7	Data fisik gas pentana pada 4 kg/cm ³	70

Tabel E.1	Tabel MSDS Sulfuric acid 25%	79
Tabel E.2	Tabel MSDS Sodium Hydroxide	80
Tabel E.3	Tabel MSDS Sodium Thiosulfate	81
Tabel E.4	Tabel MSDS Potassium Iodide	82
Tabel E.5	Tabel MSDS Hydrochloric acid	83
Tabel F.1	Hasil uji organoleptik.....	84
Tabel F.2	Penilaian sampel.....	85
Tabel F.3	Tabel kriteria signifikansi perbedaan sampel untuk <i>triangle test</i>	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Aren.....	5
Gambar 2.2	Tongkol Bunga.....	7
Gambar 2.3	Perubahan gula dalam nira kelapa	8
Gambar 2.4	Gula aren.....	10
Gambar 2.5	Skema pembuatan secara tradisional gula aren dan gula semut.....	12
Gambar 2.6	Proses pembuatan gula aren dengan evaporator	13
Gambar 2.7	Tabung LPG.....	22
Gambar 2.8	Titik nyala api	22
Gambar 3.1	Rancangan alat evaporator silinder horizontal	31
Gambar 3.2	Gambar tampak atas, depan dan samping tabung evaporator.....	33
Gambar 3.3	Gambar tampak atas, depan dan samping penyaring.....	34
Gambar 3.4	Gambar tampak atas, depan dan samping pengaduk.....	35
Gambar 3.5	Proses penelitian.....	38
Gambar 3.6	Evaporator silinder horizontal	38
Gambar 3.7	Skema prosedur percobaan utama	41
Gambar 4.1	Tabung evaporasi.....	44
Gambar 4.2	Kaki penyangga.....	44
Gambar 4.3	Pembakar.....	45
Gambar 4.4	Motor listrik.....	45
Gambar 4.5	Pengatur putaran pengaduk.....	45
Gambar 4.6	Pengaduk.....	46
Gambar 4.7	Penyaring.....	46
Gambar 4.8	Penurunan kadar air pada proses evaporasi nira aren	53
Gambar 4.9	Kenaikan kadar gula pada proses evaporasi nira aren.....	55
Gambar A.1	Skema analisis kadar air	63
Gambar A.2	Skema persiapan pembuatan larutan contoh	64
Gambar A.3	Skema sebelum inversi pada analisis kadar gula	65
Gambar A.4	Skema sesudah inversi pada analisis kadar gula	66

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gula aren adalah salah satu jenis produk pangan yang dikenal secara internasional yang selama ini merupakan produk tradisional Indonesia. Gula aren atau *palm sugar*, selain digemari sebagai bahan pelengkap dalam konsumsi makanan sehari-hari, seringkali juga digunakan sebagai campuran obat pada jamu tradisional, sehingga tak jarang produk yang terkenal sebagai *healthy sugar* ini menjadi produk kegemaran masyarakat golongan ekonomi menengah ke atas di negara maju seperti Jepang. Di Indonesia sendiri terdapat sekitar 180.200 unit usaha yang berjalan dibidang pembuatan gula merah, dengan nilai produksi sekitar 4 milyar rupiah^[1]. Satu unit usaha penting yang menggunakan gula merah adalah industri pembuatan kecap yang merupakan produk lokal yang cukup banyak dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia.

Gula merah atau gula aren merupakan produk olahan dari cairan nira aren yang diperoleh dari pohon aren. Sebagai negara yang beriklim tropis, tanaman aren dapat dijumpai di beberapa daerah. Perkembangan perkebunan aren di Indonesia mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, dimana pada tahun 1992 luas area dari perkebunan tanaman aren mencapai 28.612 ha dan terus meningkat hingga 60.761 ha pada tahun 2005^[2]. Peningkatan luas area ini diikuti pula oleh peningkatan kuantitas di bagian produksi, dari 17.437 ton pada tahun 1992 hingga mencapai 35.899 ton pada tahun 2005. Data peningkatan luas perkebunan aren di Indonesia dapat dilihat di Tabel 1.1^[2].

Tabel 1.1 Perkembangan perkebunan aren nasional Indonesia^[2]

	1992	1995	1998	2001	2003	2004	2005
Luas area (Ha)	28.612	44.825	44.857	50.543	55.183	59.557	60.761
Produksi (ton)	17.437	30.394	38.069	33.498	34.051	32.880	35.899

Produksi gula merah tidak dapat dipungkiri memiliki potensi yang sangat besar bagi perkembangan usaha kecil dan menengah di Indonesia. Akan tetapi masih terdapat kendala sampai saat ini yaitu tingginya kontaminan fisik dan mikrobiologi yang seringkali menyebabkan penolakan terhadap produk gula merah yang dihasilkan^[3]. Tingginya kontaminan fisik pada gula merah tersebut terkait dengan proses pembuatan secara tradisional yang menggunakan nira aren murni tanpa pengawet dengan alat-alat sederhana, seperti wajan dan bambu dengan bahan bakar kayu^[4]. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan alat untuk pengolahan nira aren menjadi gula aren yang meminimalkan kontaminasi dan kajian awal terhadap pengaruh penambahan bahan pengawet pangan natrium bisulfit terhadap proses evaporasi serta kualitas gula aren yang dihasilkan.

1.2 Tema Sentral Masalah

Tema sentral masalah penelitian yang dilakukan adalah belum adanya data yang definif atas faktor-faktor yang mempengaruhi perancangan alat evaporasi nira aren dan pengaruh penambahan bahan pengawet natrium bisulfit terhadap kualitas gula aren yang dihasilkan

1.3 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dalam penelitian ini ialah :

1. Faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi perancangan evaporator horizontal dan seberapa jauh pengaruhnya ?
2. Seberapa jauh efisiensi energi dari alat evaporasi yang dihasilkan dibandingkan dengan perhitungan konsumsi energi teoritik ?
3. Seberapa jauh pengaruh kecepatan pengadukan nira dalam evaporator bentuk silinder horizontal terhadap perolehan gula merah ?
4. Seberapa jauh pengaruh penambahan natrium bisulfit pada nira dalam evaporator bentuk silinder horizontal terhadap perolehan gula merah ?

1.4 Premis-Premis

Premis-premis dalam penelitian ini ialah :

1. Temperatur yang baik untuk digunakan pada pembuatan gula merah adalah 110°C ^[3, 4, 5]
2. Pengadukan yang dilakukan sebesar 20 rpm.^[6]
3. Salah satu bahan pengawet yang digunakan adalah natrium bisulfit dengan kadar 5 gram per 25 liter nira aren^[3]; konsentrasi pada produk akhir sebesar: 0,1%^[4], 0,025-0,10%^[6], 410ppm^[7]; 0,01 – 1,00%^[8], 50 – 200 ppm^[9].
4. pH dari nira yang digunakan adalah 6-7^{[3], [9]}.
5. Waktu pemasakan kurang lebih 4 jam^[9].
6. Perbandingan panjang dengan diameter sebesar 3 : 2^[7].
7. Perpindahan panas terjadi dari permukaan tabung evaporasi secara konveksi dan radiasi.^[10]
8. Kandungan dalam gas LPG terdiri dari campuran propan-butan, dan pentan.^[11]
9. Perbandingan nira aren dengan gula aren yang dihasilkan adalah 10:1,5^[6].

1.5 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini ialah :

Kualitas gula aren yang diperoleh sebagai hasil evaporasi menggunakan alat evaporator horisontal dipengaruhi oleh kecepatan pengadukan dan zat aditif yang ditambahkan.

1.6 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini ialah :

1. Mempelajari faktor-faktor yang mempengaruhi dalam perancangan alat evaporator silinder horizontal.
2. Merancang alat evaporator silinder horizontal.
3. Menguji alat evaporator silinder horizontal.
4. Mempelajari pengaruh kecepatan pengadukan dan penambahan zat aditif terhadap kualitas gula aren yang dihasilkan

1.7 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini ialah :

1. Bagi Industri

- 1.1 Memberikan alternatif alat lokal yang cukup ekonomis yang dapat menghasilkan gula merah dengan kualitas tinggi.
- 1.2 Mengetahui pengaruh berbagai variabel pada alat seperti kecepatan pengadukan dan bahan aditif terhadap kualitas produk gula aren yang dihasilkan.

2. Bagi pemerintah

- 2.1 Memberikan alternatif industri kecil mandiri sehingga memperlebar lapangan kerja bagi masyarakat Indonesia.
- 2.2 Memberi masukan Standar Nasional Indonesia untuk kualitas Gula aren.

3. Bagi ilmuwan

- 3.1 Menambah pengetahuan tentang pengaruh berbagai variabel terhadap pembuatan gula aren.

1.8 Pembatasan masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini ialah :

1. Nira aren diambil dari daerah Garut
2. Reaktor yang digunakan adalah evaporator stainless steel silinder horizontal
3. Variabel yang diteliti dalam perancangan alat adalah jenis pengaduk, jenis *stainless steel*, tebal *stainless steel* terhadap efisiensi teoritis dan actual alat yang dihasilkan.
4. Variabel yang diteliti dalam uji kecepatan pengadukan dan penambahan bahan pengawet natrium bisulfit dalam proses pemasakan nira aren.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aren ^[2]

2.1.1 Tanaman aren

Aren adalah tanaman berkeping satu (*Monocotyledon*) dan anggota dari suku *Areceaceae* atau suku *Palmae*. Aren memiliki nama ilmiah *Arenga pinnata* (Wurmb.) Merrill. Pohon aren tumbuh di daerah Asia Tenggara, Kepulauan Ryukyu di Jepang, Vietnam hingga Himalaya timur, daerah Afrika dan Kepulauan Pasifik. Aren tumbuh di ladang, pinggir desa, hutan primer dan sekunder. ^[3]

2.1.1.1 Klasifikasi tanaman aren

Klasifikasi dan gambar tanaman aren dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Gambar 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi aren (*arenga pinnata*) ^[2]

Binomial name:	<i>Arenga pinnata</i>
<i>Kingdom:</i>	Plantae
<i>Division:</i>	Magnoliophyta
<i>Class:</i>	Liliopsida
<i>Order:</i>	Arecales
<i>Family:</i>	Areceaceae
<i>Genus:</i>	Arenga
<i>Species:</i>	<i>A. pinnata</i>



Gambar 2.1 Aren ^[4]

Bentuk pohon aren mirip dengan pohon kelapa (*Cocos nucifera*), karena keduanya masih termasuk ke dalam suku *Arecaceae*. Perbedaan antara pohon aren dengan pohon kelapa adalah batangnya, batang pohon aren ditutupi oleh serabut-serabut hitam yang kasar dan pelepah daun tua tetap melekat pada batang aren sedangkan pada pohon kelapa pada bagian batangnya bersih.

Saat ini tercatat ada empat jenis pohon aren yaitu *Arenga pinata* (Wurmb) Merr, *Arenga undulatifolia* Bree, *Arenga westerhoutii* Grift, dan *Arenga amboinensis* Becc. Dari keempat jenis tanaman aren tersebut, *Arenga pinata* (Wurmb) Merr merupakan jenis yang paling dikenal sebagai bahan baku gula merah.

2.1.1.2 Bagian-bagian tanaman aren dan kegunaannya ^[2]

Bagian-bagian tanaman aren terdiri dari akar, batang, daun, buah dan bunga. Selama ini bagian-bagian tanaman tersebut telah dimanfaatkan secara tradisional. Adapun rincian mengenai pemanfaatannya akan dijabarkan lebih lanjut sebagai berikut:

(a) Akar^{[3], [9]}

Di beberapa wilayah di Indonesia akar aren digunakan sebagai bahan untuk membuat anyaman, cambuk sais pedati, dan media tumbuh tanaman anggrek. Selain itu, akar aren juga dimanfaatkan untuk obat tradisional. Akar aren muda digunakan untuk obat batu ginjal, sedangkan akar tua untuk obat sakit gigi.

(b) Batang^{[3], [9]}

Di daerah Jawa Barat, bagian tengah atau empulur aren yang menghasilkan sagu halus digunakan sebagai bahan baku untuk membuat kue. Selain itu, batang aren juga digunakan sebagai bahan bangunan, *furniture*, dan ukiran kayu. Kulit batang aren mengandung *tonikum*.

(c) Daun^{[3], [9]}

Daun muda atau janur yang telah dikeringkan sering digunakan untuk membuat rokok yang dikenal dengan sebutan rokok daun kawung. Di Bali, daun aren sering dimanfaatkan sebagai ornamen dalam upacara adat dan keagamaan. Tulang daunnya yang kecil dapat dibuat sapu lidi atau tusuk sate sedangkan yang besar biasanya digunakan untuk tongkat, alat musik, dan kayu bakar. Di

Sumedang, abu hasil bakaran tangkai daun dikenal sebagai *sarerang kawung* dimanfaatkan sebagai bahan kosmetik tradisional untuk menghaluskan kulit wajah dan menghilangkan noda hitam yang disebabkan oleh sengatan matahari, bekas cacar, maupun luka bakar.

(d) Buah^{[3], [9]}

Buah muda dimanfaatkan untuk membuat kolang-kaling yang berguna sebagai campuran es, campuran kolak pisang, dan manisan buah. Daging buah muda (bagian sabutnya) dimanfaatkan sebagai tuba ikan.

(e) Bunga^{[3], [9]}

Bunga aren adalah bagian yang dimanfaatkan untuk menghasilkan nira aren. Adapun aren merupakan tanaman berumah satu (*monoecious*), dimana bunga jantan dan bunga betina terdapat dalam satu pohon, dengan dua bunga jantan mangapit satu bunga betina. Tandan bunga betina biasanya terdiri atas \pm 38 malai dengan 112-132 bunga betina yang berwarna hijau muda. Bakal buah pada tanaman aren beruang tiga tapi hanya mempunyai satu bakal buah. Kelopak bunga jantan berwarna hijau tetapi tiga mahkota bunga yang membentuk kapsul berwarna ungu yang akan terbuka saat benang sari siap untuk dibuahi. Adapun dalam satu bunga biasanya terdapat 111-122 benang sari.



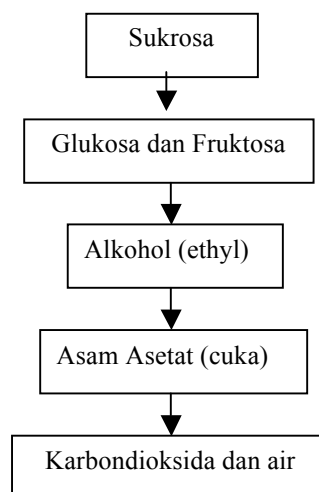
Gambar 2.2 Tongkol bunga^[4]

2.1.2 Nira aren

Nira adalah cairan yang keluar dari pembuluh tapis sebagai hasil dari penyadapan tongkol (tandan) bunga, baik bunga jantan maupun betina. Adapun tandan bunga jantan lebih sering disadap daripada bunga betina karena dapat menghasilkan jumlah nira lebih banyak dan kualitas yang lebih memuaskan.^[3]

Nira aren memiliki kandungan gula sekitar 10-15 % yang sangat mudah terfermentasi menjadi alkohol. Hal ini terjadi karena aktivitas mikroba dalam nira aren yang akan mengubah sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa dan glukosa menjadi alkohol. Proses fermentasi terjadi mulai dari penyadapan, penampungan nira di bubung, sampai saat sebelum diproses. Fermentasi akan membuat nira mengandung alkohol sekitar 15 % dan mengubah warna nira yang jernih menjadi keruh^[6]. Proses fermentasi yang merusak nira aren ini dapat dihindari dengan penambahan pengawet berupa kapur serbuk, natrium metabisulfit, dan daun ginggihang saat penyadapan.^[1]

Nira aren memiliki kandungan nutrisi yang tinggi. Nira aren memiliki nilai kalori hampir 400 kkal yang didominasi oleh karbohidrat (98,76%). Selain mengandung nilai kalori yang tinggi, nira aren juga mengandung banyak komponen mikronutrien seperti kalsium, fosfor, besi dan riboflavin walaupun dalam jumlah terbatas (lihat Tabel 2.2).



Gambar 2.3 Perubahan gula dalam nira aren^[7]

Tabel 2.2 Kandungan nira aren ^[9]

Parameter	Nira aren
Kelembaban (%)	0,7
Protein (%)	0,2
Lemak (%)	0,04
Mineral	0,3
Karbohidrat	98,76
Kalsium (mg.%)	58,7
Fosfor (mg.%)	5,4
Besi (mg.%)	1,4
Nilai kalori (per 100 gram)	396
Riboflavin (mg/100 gram)	8,2

Tabel 2.3 Data analisis nira aren ^[9, 12]

Karakteristik	Nilai/Jumlah
Density	1.07
Bahan padat	17.5
Keasaman	Sangat sedikit
Abu	0.40
Sukrosa	16.5
Gula invert	Sedikit sekali
Senyawa nitrogen	0.60

2.1.3 Gula aren

Gula aren adalah gula yang diperoleh melalui proses pemekatan nira aren sehingga memiliki kandungan air yang rendah dan pendinginan sehingga mengeras ^[13, 14] (lihat gambar 2.4). Nira aren yang didapat memiliki nilai perolehan gula yang berbeda-beda yang dipengaruhi oleh musim. Pada saat musim kemarau nilai perolehan gula lebih tinggi dibandingkan pada musim penghujan. Proses perubahan nira aren menjadi gula aren mengubah beberapa komponen nutrisi yang terkandung di dalamnya (lihat tabel 2.2 dan tabel 2.4).

Gula aren sangat mudah mengalami kerusakan karena sifatnya yang higroskopis. Oleh karena itu, dibutuhkan proses pengemasan yang baik agar gula aren tetap bermutu baik pada saat penyimpanan ^[14]. Selain itu penambahan bahan

pengawet seperti sodium metabisulfit (NaHSO_3 atau natrium bisulfit) dan sodium benzoat dapat mempertahankan mutu gula aren selama penyimpanan^[4]. Penambahan sulfit memiliki kelebihan lain yaitu mencerahkan warna dan mempertahankan tekstur keras gula namun juga berpotensi menimbulkan alergi. Adapun pemerintah telah menetapkan standar mutu untuk gula aren melalui Standar Nasional Indonesia 01-3743-1995^[15] seperti tercantum pada Tabel 2.5



Gambar 2.4 Gula aren^[13]

Tabel 2.4 Tabel analisis nutrisi gula aren ^[7]

Parameter	Gula aren
Kelembaban (%)	0,06
Protein (%)	0,06
Lemak (%)	0,07
Mineral	0,06
Karbohidrat	99,76
Kalsium (mg.%)	18,9
Fosfor (mg.%)	1,9
Besi (mg.%)	5,2
Nilai kalori (per 100 gram)	400
Riboflavin (mg/100 gram)	-

Tabel 2.5 Syarat mutu gula aren^[15]

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan
1.	Penampakan - Bentuk - Warna - Rasa dan aroma		Padatan normal Kuning kecoklatan sampai coklat Khas gula aren
2.	Air,	% b/b	Maksimal 10 %
3.	Abu,	% b/b	Maksimal 2 %
4.	Gula pereduksi,	% b/b	Maksimal 10 %
5.	Jumlah gula dihitung sebagai sukrosa,	% b/b	Minimal 77 %
6.	Bagian tidak dapat larut dalam air,	% b/b	Maksimal 1 %
7.	SO ₂ sisa,	mg/kg	Maksimal 300
8.	Pemanis buatan : (sakarín, siklamát, garam-garamnya)		Tidak ditemukan
9.	Cemaran logam : - Timbal (Pb) - Tembaga (Cu) - Seng (Zn)	mg/kg mg/kg mg/kg	Tidak ditemukan Tidak ditemukan Tidak ditemukan
10.	Arsen	mg/kg	Tidak ditemukan

2.2 Pengolahan gula aren

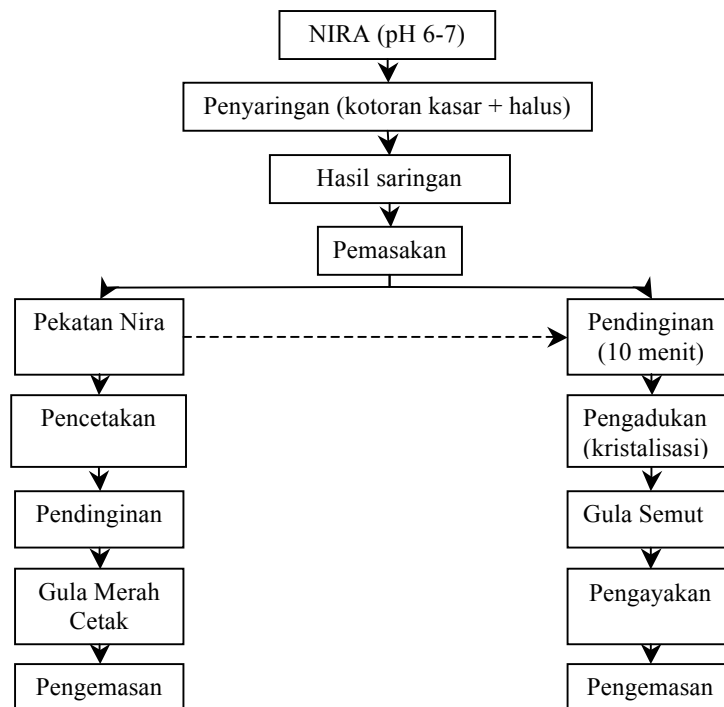
Pada umumnya proses pembuatan gula aren dilakukan secara tradisional. Akan tetapi pembuatan gula aren secara tradisional dilakukan secara terbuka dan masih mengandung banyak pengotor yang berasal dari asap pada saat dilakukan pemasakannya menggunakan kayu bakar. Oleh karena itu, dikembangkan proses pembuatan gula aren dengan menggunakan alat modern. Pengolahan dengan teknologi modern ini dilakukan dengan menggunakan evaporator yang dilengkapi dengan pengaduk yang terdapat dalam evaporator.

2.2.1 Pengolahan gula aren secara tradisional^[6]

Untuk pengolahan gula aren secara tradisional digunakan peralatan yang sederhana seperti: wajan besar, tungku, pengaduk kayu, pisau sadap, bumbung bambu, cetakan, kaleng, timbangan, serok, kain penyaring, dan plastik.

Proses pembuatan gula aren secara umum dibagi beberapa tahap yaitu:

1. Penyaringan:
Nira hasil sadapan disaring dengan kain penyaring menjadi nira bersih.
2. Pemasakan:
 - a. Nira ditambah dengan kapur sirih sebanyak 1% dari volume nira (setiap 1 liter nira ditambah 10 gram kapur sirih), kemudian dididihkan dalam wajan sambil diaduk. Busa dan kotoran yang mengambang selama pendidihan dibuang.
 - b. Setelah volume nira 1/5 volume awal, nira disaring kembali dan didinginkan selama semalam. Endapan yang terbentuk dibuang.
 - c. Nira yang telah diendapkan tersebut kembali dipanaskan sambil diaduk hingga menjadi 8% volume awal sehingga menjadi sirup kental.
 - d. Api dimatikan. Sirup kental didiamkan selama 5 menit.
3. Pencetakan:
Sirup kental dituangkan ke dalam cetakan sampai terisi 1/3 bagian. Setelah agak dingin, sirup dituang lagi sampai penuh, lalu ditunggu mengeras.

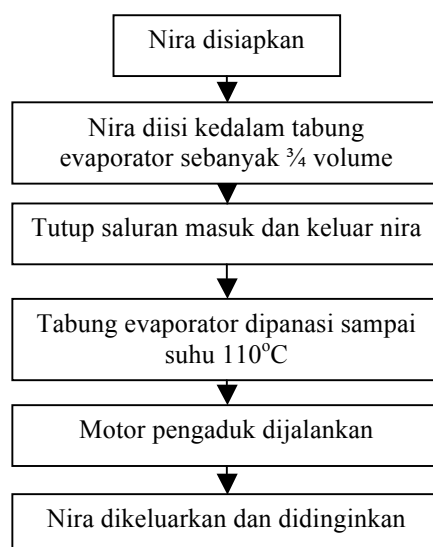


Gambar 2.5 Skema pembuatan secara tradisional gula aren dan gula semut^[6]

2.2.2 Pengolahan gula aren secara modern

Salah satu proses pembuatan gula aren secara modern dilakukan melalui proses evaporasi menggunakan evaporator silinder horizontal dan metode tahap tunggal. Adapun tahap-tahap yang dilakukan pada awalnya sama dengan cara tradisional, yaitu persiapan penyadapan, proses penyadapan, penyaringan nira sehingga didapat nira bersih. Hal yang berbeda pada pengolahan ini adalah digunakannya evaporator sebagai tempat untuk melakukan pemasakan gula aren yang sebenarnya memiliki fungsi hampir seperti wajan pada pengolahan secara tradisional namun dengan temperatur yang lebih terkendali.

Nira yang telah diperoleh dari proses penyadapan, dimasukkan kedalam evaporator kira-kira sebanyak $\frac{3}{4}$ dari volume evaporator ^[16]. Pemanasan dilakukan dengan menggunakan gas LPG. Pemasakan nira aren ini dilakukan sampai mencapai suhu tertentu. Saat proses pemasakan nira berlangsung, pengaduk yang terdapat didalam evaporator akan berputar. Hal ini bertujuan agar pemanasan merata. Alat pengaduk yang digunakan terhubung dengan motor reduksi yang berfungsi untuk mengatur kecepatan pengadukan konstan dan kontinu. Setelah cairan nira mencapai kekentalan tertentu, cairan tersebut dikeluarkan, didinginkan, dicetak lalu dikemas (lihat Gambar 2.6).



Gambar 2.6 Proses pembuatan gula aren dengan evaporator^[16]

2.3 Evaporasi

Evaporasi adalah suatu proses dimana molekul yang berada dalam fasa cair berubah menjadi fasa gas secara spontan. Tujuan utama dari proses evaporasi adalah meningkatkan konsentrasi suatu zat dalam larutan tertentu. Dalam proses gula aren, proses evaporasi digunakan untuk mengurangi kadar air sehingga volume nira menjadi sekitar 8% dari volume awal ^[6].

Proses evaporasi dipengaruhi oleh beberapa faktor ^[17, 18], yaitu :

a. Konsentrasi zat terlarut dalam larutan

Pada umumnya, larutan yang masuk ke dalam evaporator berkonsentrasi rendah, memiliki viskositas yang rendah (hampir sama dengan air) dan memiliki nilai koefisien pindah panas yang cukup tinggi. Setelah mengalami proses evaporasi, konsentrasi dan viskositas larutan akan meningkat. Hal ini menyebabkan nilai koefisien pindah panas turun drastis.

b. Kelarutan

Ketika larutan dipanaskan dan konsentrasi zat terlarut meningkat, batas nilai kelarutan suatu zat akan tercapai sebelum terbentuk kristal/padatan. Kondisi ini adalah batas maksimum konsentrasi zat terlarut dalam larutan yang bisa dicapai melalui proses evaporasi. Pada batas kelarutan ini, jika larutan panas didinginkan kembali ke suhu ruang maka akan terbentuk kristal.

c. Temperatur sensitif dari suatu zat

Banyak produk, terutama produk pangan dan produk biologi lainnya sangat sensitif terhadap temperatur dan mudah terdegradasi pada suhu tinggi.

d. *Foaming*

Beberapa zat yang membentuk larutan kaustik, larutan pangan seperti susu skim, dan beberapa larutan asam lemak akan membentuk busa (*foam*) selama proses pemanasan. Busa akan mengikuti uap keluar dari evaporator sehingga menyebabkan ada massa yang hilang.

e. Tekanan dan Temperatur

Titik didih suatu larutan bergantung pada tekanan dari sistem. Semakin tinggi tekanan dalam sistem, maka titik didih suatu larutan akan semakin tinggi. Dalam proses evaporasi, semakin tinggi konsentrasi larutan maka

temperatur akan semakin tinggi pula. Oleh karena itu, jika ingin menjaga agar suhu tidak terlalu tinggi digunakan tekanan di bawah 1 atm (keadaan vakum).

Proses evaporasi dapat dipercepat dengan cara :

- i. Mempercepat pemasokan panas di atas titik didihnya (contoh: ΔT , ΔH , A)
- ii. Memperluas permukaan cairannya (*film evaporator*)
- iii. Meningkatkan koefisien perpindahan panasnya (U_o)
- iv. Menurunkan tekanan/ menurunkan titik didihnya
- v. Mempercepat aliran pemindahan uapnya

2.3.1 Jenis- jenis evaporator ^[17, 18]

2.3.1.1 Jenis-jenis evaporator secara umum

Pada proses evaporasi, panas ditambahkan ke dalam larutan untuk menguapkan pelarut. Umumnya, panas ditambahkan melalui kondensasi uap (contohnya *steam*) pada satu sisi dan larutan yang akan dievaporasi di sisi yang lain. Jenis evaporator bergantung pada konfigurasi dari daerah perpindahan panas dan sirkulasi cairan. Pada subbab ini akan dijelaskan beberapa jenis evaporator yang umum digunakan.

a. Panci Ketel Terbuka

Evaporator ini adalah jenis paling sederhana yang terdiri dari bejana terbuka terbuat dari besi tuang dimana larutan akan dididihkan. Sebagai pemanas bisa digunakan api langsung atau mantel kukus. Untuk mencegah terbentuknya kerak, panci dilengkapi dengan pengaduk jangkar (*anchor paddle*) yang memiliki bentuk sesuai dengan kontur dasar panci. Evaporator ini murah dan operasinya sederhana, tetapi efisiensi panasnya rendah sehingga alat ini cocok digunakan untuk industri kecil/ rumah tangga. Untuk efisiensi yang lebih baik, seringkali posisi media pemanas berada terendam dalam larutan yang akan dievaporasi, contohnya kukus berada dalam pipa spiral yang terendam dalam larutan yang akan dievaporasi.

b. Evaporator Buluh-Cangkang (*Turbular Evaporator*)

Pemanas yang digunakan pada evaporator jenis ini adalah alat penukar panas jenis buluh-cangkang dimana kukus mengalir dalam cangkang dan larutan dalam buluh, dan atau sebaliknya. Pada dasarnya secara alami ada dua jenis evaporator buluh-cangkang, yaitu *horizontal turbular evaporator* dan *vertical turbular evaporator*. Selain itu juga terdapat evaporator dengan sirkulasi paksa yang sebenarnya sama seperti evaporator alami hanya diberi percepatan untuk mempercepat laju evaporasi. Ketiga jenis evaporator ini akan dijelaskan lebih lanjut di subbab b.1-b.3.

b.1. *Horizontal Tubular Evaporator*

Kukus disalurkan dalam disalurkan dalam buluh dan larutan dalam cangkang yang merupakan tangki penguapan. Umpan dimasukkan dari sisi atas buluh dan merendam buluh horizontalnya sehingga pemanasannya sempurna. Diameter tangki berukuran 6-8 feet dengan tinggi tangki 8-12 feet dan ukuran buluh berdiameter 3/4"-1 1/4" . Buluh horizontal diklem secara kedap dan tahan panas, dengan konstruksi yang mudah dibongkar pasang. Evaporator ini cocok untuk larutan yang tidak *viscous* dan tidak menimbulkan endapan/kristal selama proses evaporasi berlangsung. Biaya investasi untuk alat ini lebih murah dibandingkan jenis vertikal.

b.2. *Vertical Turbular Evaporator*

Daerah pemanas dinamakan *calendria*, yaitu sejumlah buluh vertikal yang dirakit dalam suatu cangkang, dan ditengahnya terdapat buluh dengan diameter besar yang dinamakan *downtake*. Luas lingkaran *downtake* adalah 75%-150% dari luas total buluh-buluhnya. Buluhnya berdiameter 1"-4" dengan tinggi 3-6 feet.

Jenis ini termasuk evaporator sirkulasi alami, yang sangat efisien dengan ratio penguapan yang lebih baik daripada jenis horizontal. Salah satu kerugian dari alat ini adalah apabila terjadi pengendapan pada buluh-buluhnya, maka operasi alat harus dihentikan untuk dilakukan reparasi dan pembersihan. Oleh karena itu dikembangkan beberapa jenis *vertical turbular evaporator* yang lebih praktis pemeliharaannya yaitu *basket type vertical turbular evaporator* yang akan dijelaskan lebih rinci pada sub bab b.2.1. Selain itu, modifikasi pada *vertical*

turbular evaporator seringkali dilakukan berdasarkan kondisi larutan yang akan dievaporasi. Hal ini akan dijelaskan lebih lanjut pada subbab b.2.2, b.2.3 dan b.2.4.

b.2.1. Basket Type Vertical Turbular Evaporator

Evaporator ini adalah modifikasi dari jenis *vertical tube* yang lebih praktis pemeliharaannya. *Calendrianya* adalah suatu konstruksi yang terpisah, dan dapat dibongkar pasang/diganti dengan cangkangnya dari tangki penguapan untuk keperluan pembersihan dan reparasi. Ukuran calendria dibuat sedemikian rupa sehingga penempatannya dalam tangki membentuk anulus, sebagai *downtake* yang luasnya 75%-150% dari luas total buluhnya. Kukus masuk dalam cangkang calendria dan mengalir ke bawah melalui *downtake anulus* kemudian memasuki buluh pemanas dan mendidih sehingga naik ke atas secara alami; campuran gelembung uap dan larutan akan membentur *reflektor*, yaitu sekat pemisah uap (*entrainment separator*), sehingga uap dan larutan pekat terpisah; uap mengalir ke atas dan larutan kembali ke bawah melalui *downtakenya*.

b.2.2. Long Tube Vertical Evaporator

Pada evaporator ini, umpan masuk dari bawah buluh dan dijaga hingga 2-3 feet dari bawah ujung pipa. Kukus pemanas berada dalam cangkang. Umpan larutan dimasukkan dari bawah dan pemanasan larutan menyebabkan terjadinya gelembung, yang makin ke atas makin banyak, sehingga di bagian atas aliran larutan akan membentuk lapisan (film) tipis yang mengalir ke atas secara alami bersama uapnya dan selanjutnya membentur *reflektor (impegment baffle)*, yaitu sekat pemisah uap (*entrainment separator*), sehingga uap larutan pekat terpisah; uap mengalir ke atas dan konsentrat terkumpul di bawahnya dan mengalir ke bawah melalui pipa keluaran yang diambil sebagai produk. Pada dasarnya, jenis ini adalah jenis evaporator satu lintas, tapi apabila diperlukan sirkulasi, dapat diatur dari katup yang tersedia. Dari mekanisme aliran larutannya, alat ini dikenal juga dengan nama *rising film evaporator* dan cocok untuk larutan yang berbuih dan encer.

b.2.3. *Falling Film Evaporator*

Pemekatan larutan yang sangat peka terhadap panas (contoh: juice) mengharuskan waktu kontak yang singkat dengan permukaan panasnya; hal ini dapat dicapai dengan *falling film evaporator* satu lintas. Kukus dalam cangkang dan larutan dalam buluh, yang memiliki ukuran 2"-10".

Umpan larutan dimasukkan di atas tabung-tabung secara merata dan jatuh ke bawah menelusuri permukaan dalam tabung dalam bentuk aliran film. Panas tabung akan menguapkan larutan, dan uap yang terbentuk akan jatuh ke bawah bersama larutan pekat dan dipisahkan dalam ruang pemisah uap-cair di bagian bawah alat.

Masalah utama dalam evaporator jenis ini adalah pendistribusian larutan umpan logam berperforasi dan corong penyalur sebagai distributor. Alat ini cocok untuk menguapkan zat cair yang *viscous*.

b.2.4. *Evaporator Film Aduk*

Evaporator ini merupakan modifikasi *falling film evaporator* dimana daya hantar panas konveksi cairan film ditingkatkan dengan memperbesar turbulensi lapisan film dengan bantuan pengadukkan mekanik, sehingga daya hantar panas yang tinggi dapat terjadi pada bahan *viscous* (sampai 1000 poise pada suhu evaorasi).

Umpan masuk dari puncak bagian yang bermantel dan larutan disebar ke dinding tabung menjadi film tipis yang sangat turbulen dengan bantuan daun-daun vertikal pengaduk, yang akan meningkatkan daya hantar panas konveksinya sehingga terjadi penguapan yang cepat.

Uapnya naik ke bagian atas alat sedangkan konsentrasinya turu ke bawah sampai ke permukaan tabung yang tidak bermantel kukus. Daun-daun pengaduk berfungsi untuk penangkap percikan (*entrainment separator*) dimana percikan terpisah dengan jalan melemparnya ke dinding tabung dan mengalir ke bawah sehingga uapnya bebas dari percikan.

Alat ini sangat efektif untuk larutan yang *viscous* yang sangat peka terhadap panas, seperti gelatin, latex, antibiotik, sari buah-buahan, dsb.

Kelemahan dari alat ini adalah kapasitasnya kecil dan biaya operasinya mahal, karena adanya bagian alat yang bergerak sehingga memerlukan pemeliharaan.

b.3. Evaporator dengan sirkulasi paksa (*Forced-circulation type*)

Untuk menguapkan larutan *viscous* (seperti proses pemekatan larutan NaOH) secara sirkulasi alamiah, daya hantar panas konveksinya sangat rendah (karena lapisan filmnya tebal), sehingga untuk meningkatkannya diperlukan suatu percepatan sampai 6 – 18 feet/detik (2 – 6 m/det), yang pelaksanaannya dapat dilakukan dalam jenis evaporator horizontal maupun vertikal.

Dengan sirkulasi paksa ini larutan mempunyai daya hantar konveksi yang lebih baik sehingga rasio penguapan besar, sedang waktu kontakannya singkat (sekitar 3 detik) maka larutan yang peka terhadap panas pun dapat dipekatkan dengan alat ini.

2.3.1.2 Jenis-jenis evaporator berdasarkan metode operasinya

Dalam pengoperasian evaporator, kita bedakan evaporator efek tunggal/satu tahap (*single effect evaporator*) dan evaporator efek/tahap banyak (*multiple effect evaporator*).

a. Evaporator efek tunggal/satu tahap (*single effect evaporator*)

Uman dipanaskan/diuapkan dengan jalan memasok kukus jenuh dari luar dan kemudian uap yang terjadi dikondensasikan dimana panasnya diambil oleh air pendingin dari luar. Disini terlihat bahwa panas latennya dibuang begitu saja melalui air pendingin. Evaporator tunggal digunakan bila kapasitasnya kecil dan tersedia kukus yang murah/banyak.

b. Evaporator tahap banyak (*multiple effect evaporator*)

Untuk menghemat pemakaian kukus serta meningkatkan efisiensi panas, digunakan orang evaporator tahap banyak, dimana kukus dari larutan digunakan sebagai sumber panas untuk penguapan larutan dialat lain (daur ulang kukus). Cara ini dikenal dengan nama evaporasi tahap banyak (*multiple effect evaporator*).

Dalam alat ini panas laten yang terdapat dalam kukus dari penguapan larutan umpan digunakan untuk menguapkan larutan umpan yang lain di alat lain; Mengingat diperlukannya flux temperatur dalam pemindahan panas, maka proses penguapan dengan menggunakan kukus ini harus dilakukan pada temperatur yang lebih rendah. Hal ini dapat dicapai dengan menurunkan tekanan operasi penguapannya. Melalui cara ini penguapan bertahap banyak tersebut dapat dilakukan sampai tahap ke 3 atau 4 yang dikenal dengan nama *triple/quadruple effect evaporator*.

2.4 Bahan bakar LPG (*Liquified Petroleum Gas*)^[11, 19]

Bahan bakar LPG atau *Liquified Petroleum Gas* pada dasarnya merupakan campuran dari berbagai hydrocarbon sebagai hasil penyulingan dari minyak mentah. Komposisi yang terdapat dalam LPG pada umumnya adalah propana (C_3H_8), dan butana (C_4H_{10}).

Jenis-jenis LPG berdasarkan campuran yang terdapat di dalamnya adalah sebagai berikut :

1. LPG propana, dimana sebagian besar terdiri dari C3
2. LPG butana, dimana sebagian besar terdiri dari C4
3. *Mixed* LPG, dimana terdiri dari campuran antara propana dan butana

Secara umum sifat dari LPG adalah sebagai berikut^[25,26] :

1. Berat jenis dari LPG lebih besar dari udara. Butana memiliki berat jenis dua kali dari berat jenis udara. Sedangkan untuk propana memiliki berat jenis satu setengah kali berat jenis udara.
2. Tidak memiliki sifat pelumasan terhadap metal.
3. Merupakan solvent yang baik terhadap karet.
4. Tidak berwarna baik dalam bentuk cair maupun dalam bentuk gas.
5. Tidak berbau sehingga untuk keselamatan LPG komersial perlu ditambah zat odor, yaitu ethyl merkaptan.
6. Tidak mengandung racun.

Pada umumnya LPG akan berbentuk gas pada suhu kamar. LPG diubah dalam bentuk cair agar memudahkan pada saat pendistribusiannya. Untuk membuat LPG menjadi dalam bentuk cair terdapat dua cara yaitu :

1. LPG *pressurized*, dimana pada cara ini LPG dicairkan dengan menggunakan tekanan sekitar 4-5 kg/cm². LPG jenis ini banyak digunakan dalam berbagai macam aplikasi rumah tangga.
2. LPG *refrigerated*, untuk cara ini LPG didinginkan terlebih dahulu agar menjadi cair. Untuk tipe ini diperlukan tangki penyimpanan khusus.

Pada umumnya konsumsi dari pemakaian bahan bakar gas untuk skala rumah tangga adalah sekitar 150-200 gram setiap jamnya. Nilai kalor pembakaran yang berasal dari LPG adalah sebesar 11920 kcal/kg.

Daya pemanasan yang dihasilkan oleh bahan bakar LPG memiliki nilai yang lebih baik jika dibandingkan dengan bahan bakar jenis lain. Hal ini dapat dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2.6 Perbandingan daya pemanasan bahan bakar^[19]

<i>Bahan Bakar</i>	Daya Pemanasan (Kcal/kg)	Efisiensi Apparatus (%)
Kayu Bakar	4000	15
Arang	8000	15
Minyak Tanah	11000	40
Gas Kota	4500	55
Elpiji	11900	60
Listrik	860 (Kcal/Kwh)	60

Komposisi gas yang terdapat didalam tabung LPG adalah sebagai berikut :

1. Campuran antara gas propana dengan butana sekitar 97,5 %-berat. Dimana dengan perbandingan antara propana dengan butana sebesar 30 % : 70 %.

2. Gas pentana sekitar 2,5 %-berat.

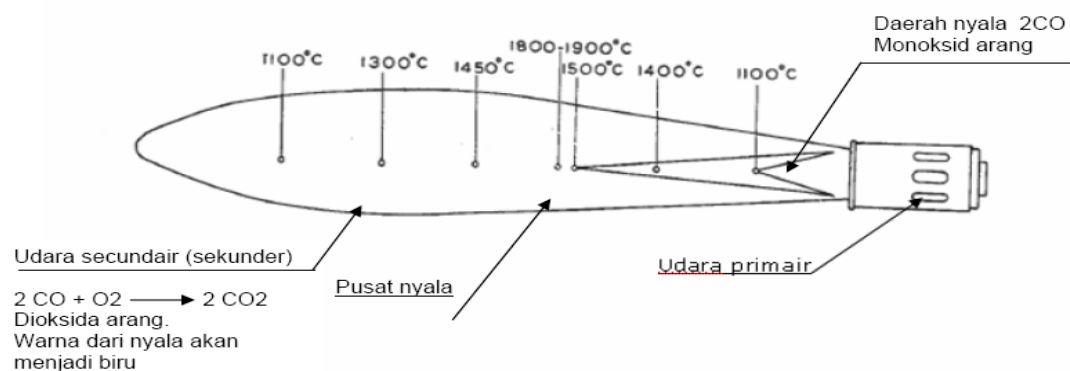
Kalor pembakaran yang dimiliki oleh tiap bahan yang terkandung dalam LPG memiliki nilai yang berbeda. Kalor pembakaran yang dimiliki oleh propana sebesar 12030 kcal/kg, butana sebesar 11830 kcal/kg, dan pentana sebesar 11600 kcal/kg^[11].



Gambar 2.7 Tabung LPG^[11]

Nyala dari api yang dihasilkan oleh suatu pembakar memiliki suhu yang berbeda-beda untuk tiap titiknyanya. Nyala api yang baik adalah berwarna biru.

Berikut ini adalah skema yang menunjukkan suhu api pada tiap bagiannya



Gambar 2.8 Titik nyala api^[11]

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa titik terpanas terletak pada titik pertengahan lidah api. Titik nyala dari api tidak bergantung pada jenis gas dan alat pembakar yang dipakai^[11].

2.5 Perpindahan panas^[10, 20]

Perpindahan panas adalah suatu proses pemindahan panas dari satu tempat menuju ketempat lain karena adanya perbedaan suhu diantara kedua tempat tersebut.

Proses perpindahan panas merupakan salah satu operasi yang penting dalam proses pengolahan bahan pangan. Proses-proses tersebut antara lain ^[20]:

1. Pembekuan daging
2. Proses pasteurisasi
3. Pendinginan buah dan sayuran
4. Sterilisasi secara termal pada makanan kaleng
5. Penyediaan energi untuk penguapan, distilasi, dan proses pengeringan

Proses perpindahan panas dapat terjadi melalui beberapa cara yaitu ^[10, 17]:

1. Secara konduksi

Proses perpindahan panas ini dapat terjadi karena adanya pertukaran energi kinetik diantara molekul-molekul bahan tanpa disertai dengan adanya pergeseran tempat dari molekul yang bersangkutan. Proses perpindahan panas secara konduksi ini merupakan suatu proses utama perpindahan panas pada benda padat.

2. Secara konveksi

Proses perpindahan panas ini dapat terjadi karena secara alamiah maupun secara mekanik. Untuk proses perpindahan panas secara konveksi biasanya terjadi perpindahan panas dari molekul-molekul yang memiliki tingkat energi yang tinggi menuju ke suatu bagian lain dari sistem.

3. Secara radiasi

Proses perpindahan panas secara radiasi biasanya terjadi karena adanya proses transfer panas dari sebuah benda yang memiliki suhu yang tinggi ke suatu benda yang memiliki suhu yang relatif lebih rendah.

2.5.1 Perpindahan panas secara konveksi^[10, 17]

Proses perpindahan panas secara konveksi biasanya berhubungan dengan satu proses perpindahan panas yang terjadi antara fluida yang dapat berupa cair maupun gas dengan suatu permukaan padat.

Transfer panas yang terjadi secara konveksi berbanding lurus dengan beda suhu diantara permukaan benda padat (t_s) dengan fluida cair atau gas (t_f). Selain itu juga berbanding lurus terhadap luas permukaan yang tegak lurus dengan transfer panas yang terjadi. Pada lapisan permukaan padat dapat dikatakan terdapat suatu lapisan tipis yang merupakan medium transfer panas yang biasa dikenal dengan konduktivitas (h).

Secara umum transfer panas yang terjadi dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$q = h \cdot A \cdot (t_s - t_f) \dots\dots\dots(2.1)$$

Untuk sistem transfer panas secara konveksi yang terjadi pada silinder berbentuk horizontal dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut ^[10]:

$$h = 0,27 \cdot (\Delta t/D)^{0,25} \dots\dots\dots(2.2)$$

2.5.2 Perpindahan panas secara radiasi^[10, 17]

Untuk proses perpindahan panas secara radiasi terdapat suatu persamaan yang berlaku secara umum yaitu yang dikenal dengan hukum Stefan Blotzman. Persamaan tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$q = A \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana :

- q = panas radiasi (Btu/jam)
- A = luas permukaan (ft²)
- σ = konstanta boltzman (1,73 x 10⁻⁹ Btu/ft² j °R)
- T = suhu absolut (°R)
- ε = emisivitas (antara 0-1)

Bila suatu benda dengan T_1 dikelilingi oleh suatu permukaan benda lain dengan T_2 maka permukaan dari kedua benda tersebut akan memancarkan panas.

Sehingga jika semua benda selain memancarkan panas juga menerima panas secara radiasi dan yang sebagian dipantulkan, sebagian diserap, dan sebagian lagi diteruskan maka pertukaran panas radiasi yang terjadi antara dua benda dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$q = A \cdot \sigma \cdot (T_2^4 - T_1^4) \cdot F_{AE} \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan F_{AE} adalah faktor koreksi yang memperimbangkan emisivitas dan absorptivitas permukaan kedua benda.

Selain itu terkadang dicari kemungkinan untuk pemakaian persamaan yang menggunakan koefisien transfer panas secara radiasi yang dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$q = h_r \cdot A \cdot (T_1 - T_2) \dots\dots\dots(2.5)$$

Contoh aplikasi penggunaan biasanya berhubungan dengan pertukaran panas radiasi diantara kedua permukaan. Misal benda 1 memancarkan panas radiasi, kemudian panas tersebut diserap oleh permukaan benda ke 2 maka :

$$q_{1-2} = \sigma \cdot T_1^4 \cdot A_1 \cdot F_{1,2} \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana $F_{1,2}$ bergantung pada emisivitas kedua permukaan.

Untuk permukaan ke 2 :

$$q_{2-1} = \sigma \cdot T_2^4 \cdot A_2 \cdot F_{2,1} \dots\dots\dots(2.7)$$

Transfer neto menjadi :

$$q_{neto} = \sigma \cdot T_2^4 \cdot A_2 \cdot F_{2,1} - \sigma \cdot T_1^4 \cdot A_1 \cdot F_{1,2} \dots\dots\dots(2.8)$$

Jika $T_1 = T_2$ maka tidak akan ada transfer neto sehingga :

$$A_2 \cdot F_{2,1} = A_1 \cdot F_{1,2} \dots\dots\dots(2.9)$$

Hubungan umum yang diperoleh :

$$q_{neto} = \sigma \cdot (T_2^4 - T_1^4) \cdot A_1 \cdot F_{1,2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Jika suatu benda dikelilingi oleh benda lain yang luas, maka radiasi dari benda tersebut akan mengenai dinding dan bagian yang mengenai permukaan dinding direfleksi kembali ke benda dapat diabaikan. Jadi radiasi ke benda akan diserap oleh permukaan yang mengelilinginya sehingga :

$$q_{1,2} = \sigma \cdot T_1^4 \cdot A_1 \cdot \epsilon_1 \dots\dots\dots(2.11)$$

karena $A_2 \cdot F_{2,1} = A_1 \cdot F_{1,2} \dots\dots\dots(2.12)$

maka : $q_{neto} = \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \cdot A_1 \cdot \epsilon_1 \dots\dots\dots(2.13)$

Dengan dasar h_r maka persamaan diatas akan dinyatakan menjadi :

$$q = h_r \cdot A \cdot (T_1 - T_2) = \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \cdot A_1 \cdot \epsilon_1 \dots\dots\dots(2.14)$$

Maka nilai dari h_r dapat dinyatakan menjadi :

$$h_r = \frac{\sigma \cdot \epsilon \cdot [(T_1 \text{ abs})^4 - (T_2 \text{ abs})^4]}{T_1 \text{ abs} - T_2 \text{ abs}} \dots\dots\dots(2.15)$$

2.6 Perancangan kekuatan motor listrik ^[21]

Motor listrik digunakan untuk menggerakkan pengaduk yang digunakan. Dalam memilih kekuatan motor listrik yang digunakan dapat diperhitungkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$HP_f = \frac{L N F_d f_b}{1000000} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$HP_m = \frac{C L W F_f F_m F_p}{1000000} \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan :

L	= Panjang total dari pengaduk	C	= kapasitas (ft ³ /h)
(ft)		W	= berat dari material (lbs/ft ³)
N	= Kecepatan operasi (RPM)	F _f	= Flight factor
F _d	= Conveyor diameter factor	F _m	= Material factor
F _b	= Hanger bearing factor	F _p	= Paddle factor

Persamaan 2.16 menyatakan perhitungan kekuatan motor listrik yang digunakan pada saat alat dalam keadaan kosong. Sedangkan untuk persamaan 2.17 menyatakan perhitungan kekuatan motor listrik pada saat alat telah diisi dengan material.

Dengan menggabungkan persamaan 2.16 dan 2.17 maka akan diperoleh total dari kekuatan motor listrik yang digunakan. Dimana persamaan tersebut akan menjadi sebagai berikut :

$$\text{Total HP} = \frac{(HP_f + HP_m) F_o}{e} \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan :

HP_f = Kekuatan motor listrik pada saat alat kosong (*horsepower*)

HP_m = Kekuatan motor listrik pada saat alat terisi material (*horsepower*)

F_o = Overload factor

e = Drive efficiency

Tabel 2.7 Nilai F_d ^[21]

Conveyor Diameter Factor, F_d			
Screw Diameter Inches	Factor F_d	Screw Diameter Inches	Factor F_d
4	12.0	14	78.0
6	18.0	16	106.0
9	31.0	18	135.0
10	37.0	20	165.0
12	55.0	24	235.0
		30	300

Tabel 2.8 Nilai F_b ^[21]

Hanger Bearing Factor F_b		
Bearing Type		Hanger Bearing Factor F_b
B	Ball	1.0
L	<i>Martin</i> Bronze	2.0
S	*Graphite Bronze	2.0
	*Melamine	
	*Oil Impreg. Bronze	
	*Oil Impreg. Wood	
	*Nylatron	
	*Nylon	
	*Teflon	
	*UHMW	
	*Urethane	
	* <i>Martin</i> Hard Iron	3.4
H	*Hard Surfaced	4.4
	*Stellite	
	*Ceramic	

*Non lubricated bearings, or bearings not additionally lubricated.

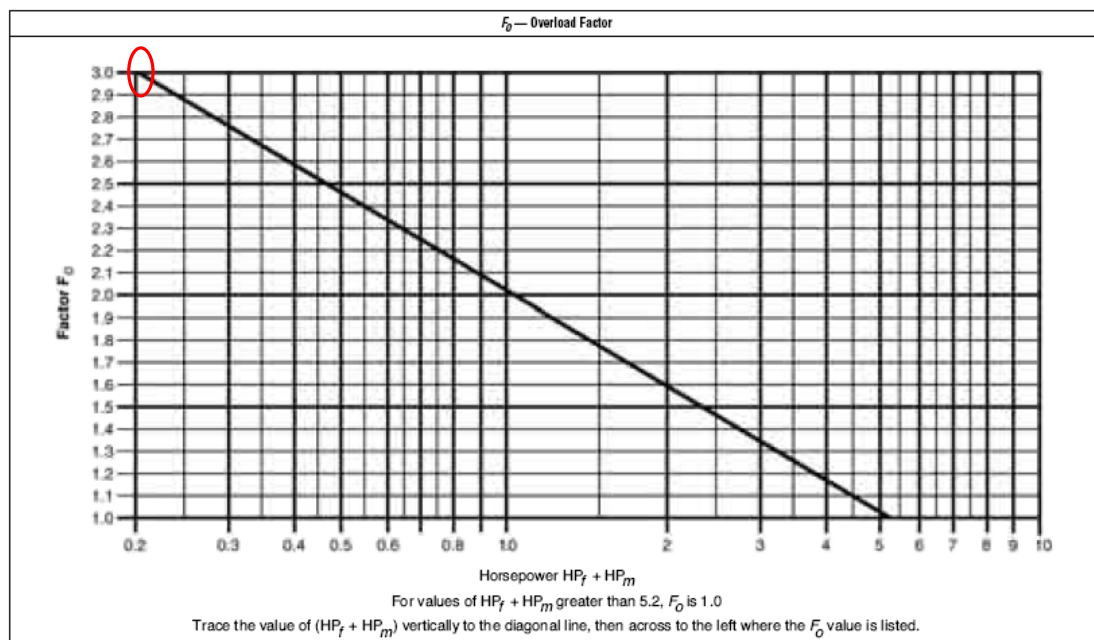
Tabel 2.9 Nilai F_f ^[21]

Flight Type	F_f Factor for Percent Conveyor Loading			
	15%	30%	45%	95%
Standard	1.0	1.0	1.0	1.0
Cut Flight	1.10	1.15	1.20	1.3
Cut & Folded Flight	N.R.*	1.50	1.70	2.20
Ribbon Flight	1.05	1.14	1.20	—
*Not Recommended				

Tabel 2.10 Nilai F_p ^[21]

Paddle Factor F_p					
Standard Paddles per Pitch, Paddles Set at 45° Reverse Pitch					
Number of Paddles per Pitch	0	1	2	3	4
Paddle Factor — F_p	1.0	1.29	1.58	1.87	2.16

Tabel 2.11 Nilai F_o ^[21]



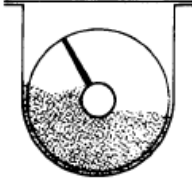
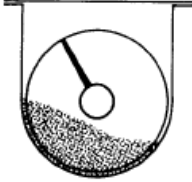
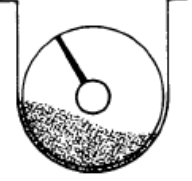

Tabel 2.12 Nilai F_m ^[21]

Material	Weight lbs. per cu. ft.	Material Code	Intermediate Bearing Selection	Component Series	Mat'l Factor F_m	Trough Loading
Silicon Dioxide (See Quartz)	—	—	—	—	—	—
Silica, Flour	80	A40-46	H	2	1.5	30B
Silica Gel + ½" - 3"	45	D3-37HKQU	H	3	2.0	15
Slag, Blast Furnace Crushed	130-180	D3-37Y	H	3	2.4	15
Slag, Furnace Granular, Dry	60-65	C½-37	H	3	2.2	15
Slate, Crushed, — ½"	80-90	C½-36	H	2	2.0	30B
Slate, Ground, — ½"	82-85	B6-36	H	2	1.6	30B
Sludge, Sewage, Dried	40-50	E-47TW	H	3	.8	15
Sludge, Sewage, Dry Ground	45-55	B-46S	H	2	.8	30B
Soap, Beads or Granules	15-35	B6-35Q	L-S-B	1	.6	30A
Soap, Chips	15-25	C½-35Q	L-S-B	1	.6	30A
Soap Detergent	15-50	B6-35FQ	L-S-B	1	.8	30A
Soap, Flakes	5-15	B6-35QXY	L-S-B	1	.6	30A
Soap, Powder	20-25	B6-25X	L-S-B	1	.9	45
Soapstone, Talc, Fine	40-50	A200-45XY	L-S-B	1	2.0	30A
Soda Ash, Heavy	55-65	B6-36	H	2	2.0	30B
Soda Ash, Light	20-35	A40-36Y	H	2	1.6	30B
Sodium Aluminate, Ground	72	B6-36	H	2	1.0	30B
Sodium Aluminum Fluoride (See Kryolite)	—	—	—	—	—	—
Sodium Aluminum Sulphate*	75	A100-36	H	2	1.0	30B
Sodium Bentonite (See Bentonite)	—	—	—	—	—	—
Sodium Bicarbonate (See Baking Soda)	—	—	—	—	—	—
Sodium Chloride (See Salt)	—	—	—	—	—	—
Sodium Carbonate (See Soda Ash)	—	—	—	—	—	—
Sodium Hydrate (See Caustic Soda)	—	—	—	—	—	—
Sodium Hydroxide (See Caustic Soda)	—	—	—	—	—	—
Sodium Borate (See Borax)	—	—	—	—	—	—
Sodium Nitrate	70-80	D3-25NS	L-S	2	1.2	30A
Sodium Phosphate	50-60	A-35	L-S	1	.9	30A
Sodium Sulfate (See Salt Cake)	—	—	—	—	—	—
Sodium Sulfite	96	B6-46X	H	2	1.5	30B
Sorghum, Seed (See Kafir or Milo)	—	—	—	—	—	—
Soybean, Cake	40-43	D3-35W	L-S-B	2	1.0	30A
Soybean, Cracked	30-40	C½-36NW	H	2	.5	30B
Soybean, Flake, Raw	18-25	C½-35Y	L-S-B	1	.8	30A
Soybean, Flour	27-30	A40-35MN	L-S-B	1	.8	30A
Soybean Meal, Cold	40	B6-35	L-S-B	1	.5	30A
Soybean Meal Hot	40	B6-35T	L-S	2	.5	30A
Soybeans, Whole	45-50	C½-26NW	H	2	1.0	30B
Starch	25-50	A40-15M	L-S-B	1	1.0	45
Steel Turnings, Crushed	100-150	D3-46WV	H	3	3.0	30B
Sugar Beet, Pulp, Dry	12-15	C½-26	H	2	.9	30B
Sugar Beet, Pulp, Wet	25-45	C½-35X	L-S-B	1	1.2	30A
Sugar, Refined, Granulated Dry	50-55	B6-35PU	S	1	1.0-1.2	30A
Sugar, Refined, Granulated Wet	55-65	C½-35X	S	1	1.4-2.0	30A
Sugar, Powdered	50-60	A100-35PX	S	1	.8	30A
Sugar, Raw	55-65	B6-35PX	S	1	1.5	30A
Sulphur, Crushed — ½"	50-60	C½-35N	L-S	1	.8	30A
Sulphur, Lumpy, — 3"	80-85	D3-35N	L-S	2	.8	30A
Sulphur, Powdered	50-60	A40-35MN	L-S	1	.6	30A
Sunflower Seed	19-38	C½-15	L-S-B	1	.5	45
Talcum, — ½"	80-90	C½-36	H	2	.9	30B
Talcum Powder	50-60	A200-36M	H	2	.8	30B
Tanbark, Ground*	55	B6-45	L-S-B	1	.7	30A
Timothy Seed	36	B6-35NY	L-S-B	1	.6	30A
Titanium Dioxide (See Ilmenite Ore)	—	—	—	—	—	—

Tabel 2.13 Nilai e ^[21]

e Drive Efficiency Factor				
Screw Drive or Shaft Mount w/ V-Belt Drive	V-Belt to Helical Gear and Coupling	Gearmotor w/ Coupling	Gearmotor w/ Chain Drive	Worm Gear
.88	.87	.95	.87	Consult Manufacturer

Tabel 2.14 Tabel kapasitas horisontal screw conveyor^[21]

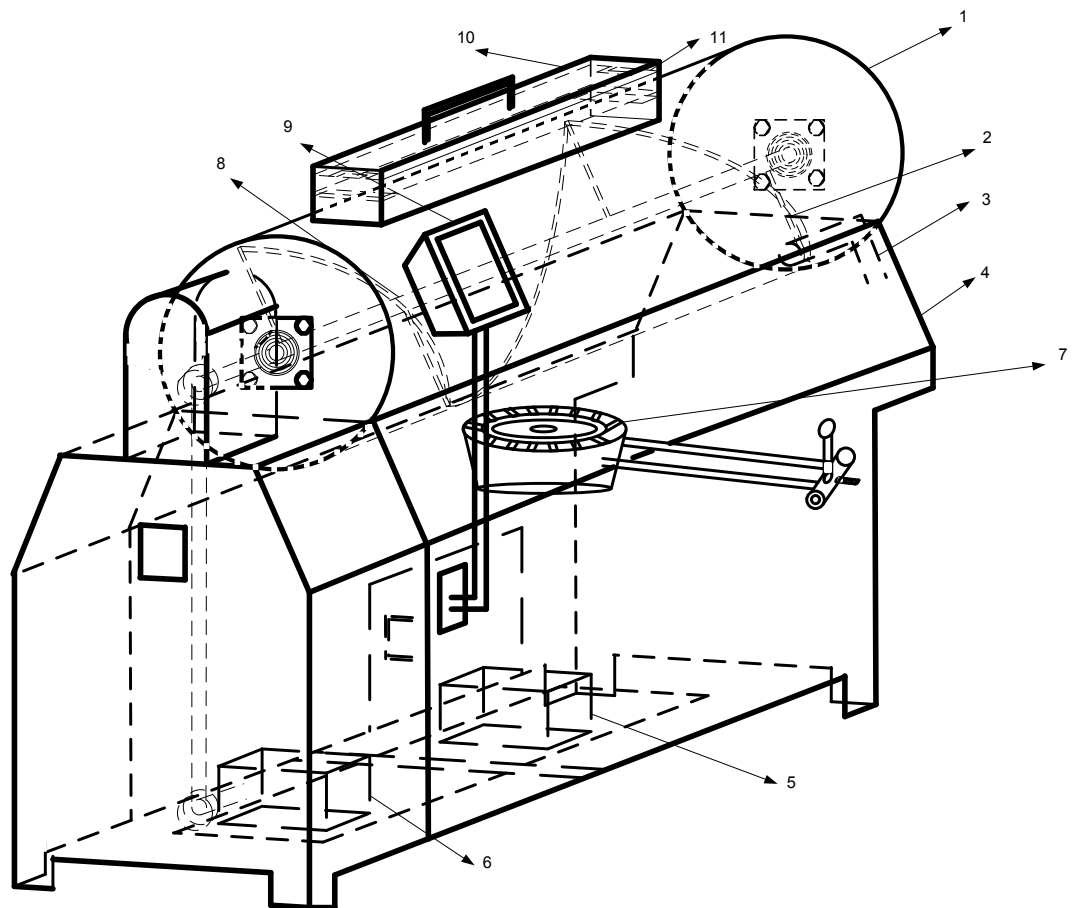
Trough Loading	Screw Dia. Inch	Capacity Cubic Feet Per Hour (Full Pitch)		Max. RPM	
		At One RPM	At Max RPM		
45%		4	0.62	114	184
		6	2.23	368	165
		9	8.20	1270	155
		10	11.40	1710	150
		12	19.40	2820	145
		14	31.20	4370	140
		16	46.70	6060	130
		18	67.60	8120	120
		20	93.70	10300	110
		24	164.00	16400	100
30	323.00	29070	90		
30% A		4	0.41	53	130
		6	1.49	180	120
		9	5.45	545	100
		10	7.57	720	95
		12	12.90	1160	90
		14	20.80	1770	85
		16	31.20	2500	80
		18	45.00	3380	75
		20	62.80	4370	70
		24	109.00	7100	65
30	216.00	12960	60		
30% B		4	0.41	29	72
		6	1.49	90	60
		9	5.45	300	55
		10	7.60	418	55
		12	12.90	645	50
		14	20.80	1040	50
		16	31.20	1400	45
		18	45.00	2025	45
		20	62.80	2500	40
		24	109.00	4360	40
30	216.00	7560	35		
15%		4	0.21	15	72
		6	0.75	45	60
		9	2.72	150	55
		10	3.80	210	55
		12	6.40	325	50
		14	10.40	520	50
		16	15.60	700	45
		18	22.50	1010	45
		20	31.20	1250	40
		24	54.60	2180	40
30	108.00	3780	35		

BAB III

RANCANGAN ALAT, BAHAN DAN METODE

3.1 Gambar rancangan alat

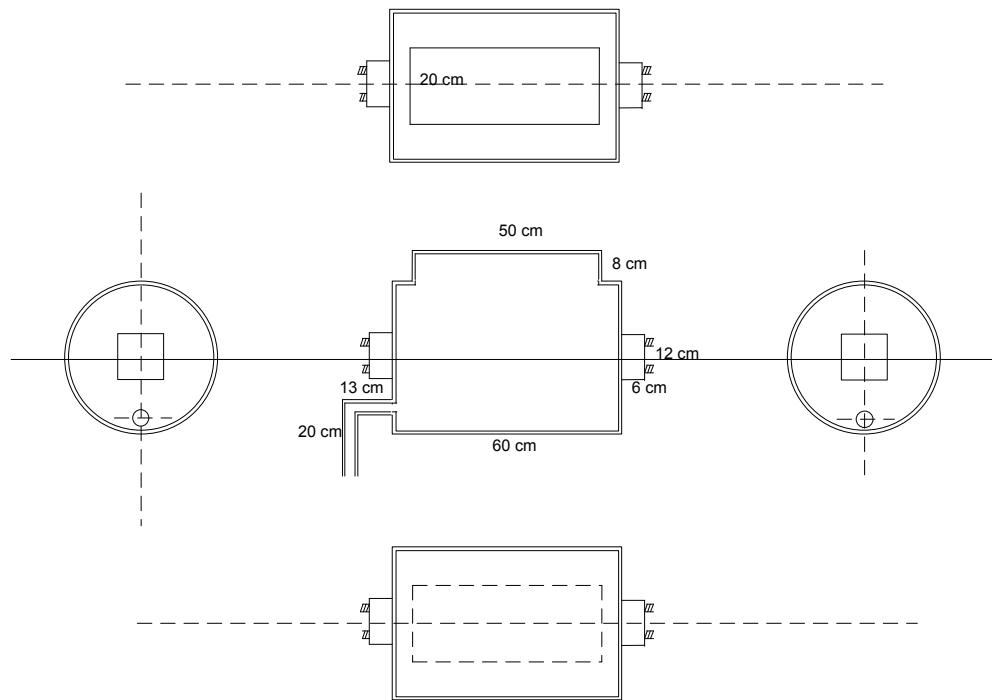
Berikut ini adalah gambar alat evaporator secara keseluruhan:



Gambar 3.1 Rancangan alat evaporator silinder horizontal

Keterangan gambar :

- | | |
|----------------------|-----------------------------|
| 1. Tabung Evaporator | 7. Pembakar |
| Panjang : 60 cm | Panjang : 60 cm |
| Diameter : 40 cm | Diameter : 2,54 cm |
| Tebal : 3 mm | |
| 2. Lengan pengaduk | 8. Poros pengaduk |
| Panjang : 17 cm | Panjang : 60 cm |
| Diameter : 1 cm | Diameter : 3 cm |
| 3. Saluran keluar | 9. Pengatur Rpm |
| 4. Kaki penyangga | 10. Bagian tutup evaporator |
| Panjang : 70 cm | Panjang : 50 cm |
| Lebar : 50 cm | Lebar : 20 cm |
| | Tinggi : 8 cm |
| 5. Motor listrik | 11. Penyaring |
| | Panjang : 48 cm |
| | Lebar : 18 cm |
| | Tinggi : 4 cm |
| 6. Motor penggerak | |



Gambar 3.2 Gambar tampak atas, depan dan samping tabung evaporator



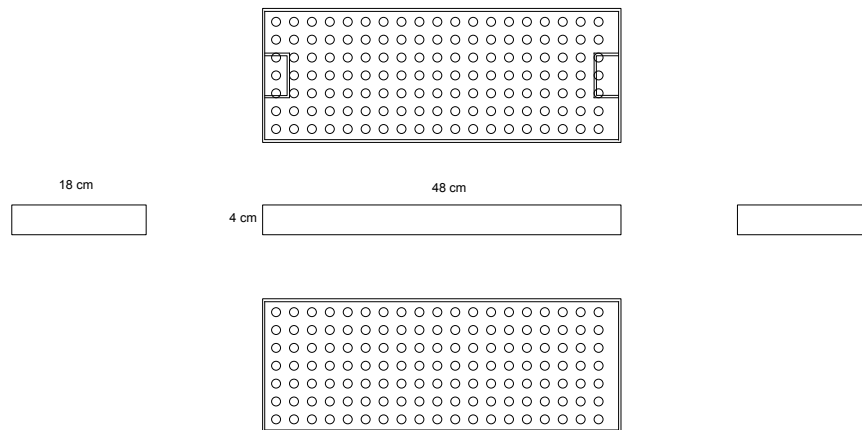
Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Katolik Parahyangan

⁴
Perancangan dan Ujicoba Alat Evaporasi Nira Aren

Nama Alat Tabung Evaporator

Skala 1 : 20

Peneliti Jenny N. M. Soetedjo, ST, M.Sc.
Prof. Dr. Ign. Suharto, Ir., APU



Gambar 3.3 Rancangan penyaring



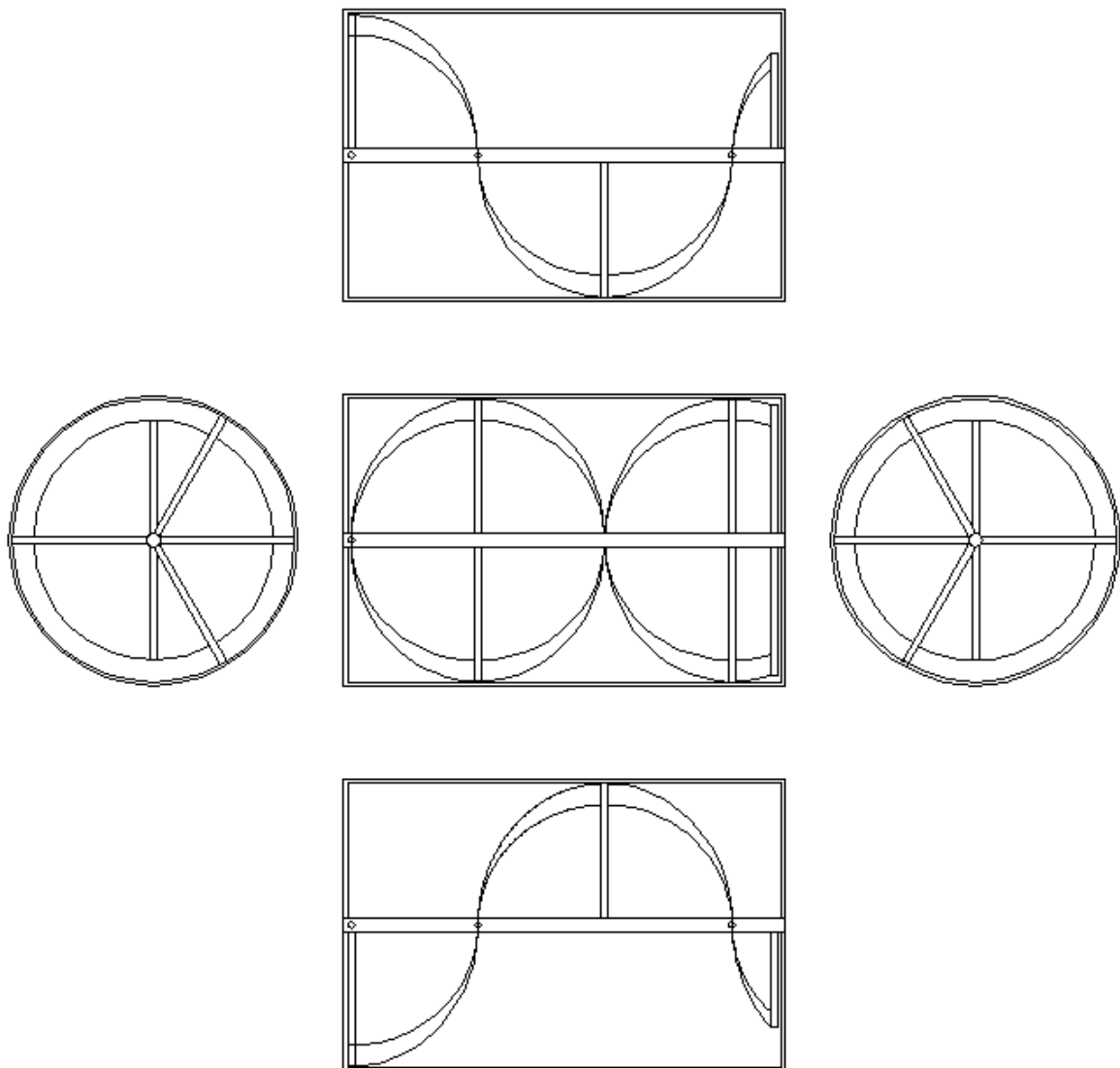
Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Katolik Parahyangan

⁴
Perancangan dan Ujicoba Alat Evaporasi Nira Aren

Nama alat Penyaring

Skala 1 : 10

Peneliti Jenny N. M. Soetedjo, ST, M.Sc.
Prof. Dr. Ign. Suharto, Ir., APU



Gambar 3.4 Rancangan pengaduk



Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Katolik Parahyangan

Perancangan dan Ujicoba Alat Evaporasi Nira Aren

Nama alat Pengaduk Tipe Ulir (*Screw*)

Skala 1 : 10

Peneliti Jenny N. M. Soetedjo, ST, M.Sc.
Prof. Dr. Ign. Suharto, Ir., APU

3.2 Bahan penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi dua macam bahan, yaitu bahan baku utama dan bahan analisis. Kedua jenis bahan tersebut akan dijelaskan lebih lanjut pada subbab 3.2.1 dan 3.2.2.

3.2.1 Bahan baku

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa nira aren dan pengawet natrium bisulfit. Nira aren ini adalah bahan baku utama yang akan diproses menjadi gula aren sedangkan natrium bisulfit adalah pengawet yang akan digunakan sebagai salah satu variabel yang diamati dalam penelitian ini.

3.2.2 Bahan analisis

Bahan analisis adalah bahan-bahan yang digunakan dalam pengujian gula aren yang dihasilkan, yang meliputi uji kadar air dan uji kadar gula. Bahan-bahan untuk kedua uji tersebut akan dijelaskan pada subbab 3.2.2.1 dan 3.2.2.2

3.2.2.1 Bahan analisis untuk uji kadar air

Bahan yang diperlukan untuk uji kadar air adalah kertas saring.

3.2.2.2 Bahan analisis untuk uji kadar gula

Bahan-bahan yang diperlukan untuk melakukan uji kadar gula terdiri dari :

- 1) Pb asetat (setengah basa)
- 2) Na_2HPO_4 10 %
- 3) Natrium Fosfat
- 4) Larutan luff schoorl (Na_2CO_3 anhidrat, asam sitrat dan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
- 5) KI 30 %
- 6) H_2SO_4 25 %
- 7) Larutan Thio 0,1 N
- 8) Kanji 5 %
- 9) HCl 5 %
- 10) NaOH 30 %

3.3 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam percobaan ini dapat dibagi menjadi peralatan utama dan peralatan analisis. Kedua jenis peralatan ini akan dijelaskan lebih lanjut pada subbab 3.3.1 dan 3.3.2

3.3.1 Peralatan utama

Peralatan utama adalah peralatan-peralatan yang digunakan dalam pembuatan gula aren. Peralatan utama yang digunakan dalam pembuatan gula aren ini adalah evaporator silinder horizontal dengan peralatan pembantu lain berupa *jerry can* sebagai wadah sementara nira aren sebelum diproses.

3.3.2 Peralatan analisis

Peralatan analisis adalah peralatan-peralatan yang digunakan untuk melakukan pengujian terhadap gula aren yang diperoleh.

3.3.2.1 Peralatan analisis untuk uji kadar air

Peralatan yang digunakan untuk melakukan uji kadar air adalah *moisture analyzer*, cawan dan spatula.

3.3.2.2 Peralatan analisis untuk uji kadar gula

Peralatan yang digunakan untuk uji kadar gula terdiri dari :

- 1) Labu ukur 250 ml
- 2) Pipet
- 3) Labu erlenmeyer 500 ml + tutup
- 4) Batu didih
- 5) Labu ukur 100 ml
- 6) Penangas air (labu + termometer)
- 7) Stopwatch
- 8) Penunjuk perubahan warna p.p.

3.4 Metode penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi empat tahap yaitu tahap perancangan, tahap konstruksi, tahap instalasi dan tahap uji coba alat (lihat Gambar 3.6.). Pada tahap perancangan dilakukan perhitungan secara teoritis untuk mencukupi kapasitas produksi yang diinginkan yaitu 75 liter sehingga pada akhirnya diperoleh rincian jenis bahan, tebal bahan serta tipe-tipe komponen yang akan digunakan. Pada tahap konstruksi dilakukan realisasi dari perancangan sehingga diperoleh alat evaporator horisontal seperti pada Gambar 3.6. Pada tahap instalasi, seluruh komponen alat disatukan dan dinyalakan dalam dua kondisi yaitu kosong dan dengan penambahan air pada evaporator. Tahap terakhir pada penelitian ini adalah tahap ujicoba alat, di mana pada tahap ini dilakukan pengamatan terhadap performansi alat dan kualitas gula aren yang dihasilkan.



Gambar 3.5 Proses penelitian



Gambar 3.6 Evaporator silinder horizontal

3.4.1. Tahap Perancangan dan Konstruksi Alat Evaporator Nira Aren

Evaporator yang digunakan dalam percobaan ini terbuat dari bahan stainless steel dengan panjang 60 cm dan diameter 40 cm dan berbentuk silinder. Pada bagian tutup evaporator terdapat lubang sebagai tempat untuk keluarnya uap hasil pemasakan nira aren. Hal ini dimaksudkan agar evaporator tidak mengalami tekanan yang lebih dari dalam pada saat pemasakan.

Evaporator ini dilengkapi dengan saringan yang terbuat dari nylon. Saringan ini dimaksudkan untuk menyaring kotoran-kotoran halus yang terdapat pada nira aren yang akan dimasukkan kedalam evaporator. Saringan nylon ini dibuat dengan panjang sekitar 60 cm. Pada kedua ujung saringan nylon diberikan kait dengan maksud memudahkan untuk dilepas pada saat dilakukan proses pemasakan.

Pengaduk yang digunakan dalam evaporator ini terdiri dari tiga bagian yaitu poros pengaduk, lengan pengaduk, dan pengaduk. Poros pengaduk terbuat dari stainless steel dengan panjang 60 cm, dan diameter 2,54 cm. Poros pengaduk yang dibuat terhubung dengan motor. Pada masing-masing dinding tabung dilengkapi dengan penyekat tahan panas agar pada saat pemasakan tidak terjadi kebocoran. Lengan pengaduk dirancang dari stainless steel, dengan tebal 2 mm, lebar 2 cm, dan panjang +/- 14 cm. Lengan pengaduk ini dipasang melintang pada poros pengaduk dengan menggunakan las listrik. Jumlah lengan pengaduk yang dipasang berjumlah 8 dengan jarak antar lengan pengaduk +/-6,5 cm. Kepala pengaduk nira dirancang dengan menggunakan bahan dari kayu dengan panjang 7 cm, lebar 5 cm, dan tebal 6 mm. Kepala pengaduk kemudian dipasang pada ujung lengan pengaduk.

Untuk menggerakkan pengaduk digunakan motor listrik. Motor listrik ini dihubungkan dengan poros pengaduk. Motor listrik yang digunakan adalah motor listrik AC dengan tegangan 220 volt dan daya 1 HP. Motor listrik ini kemudian dihubungkan dengan motor gear reduksi hal ini dimaksudkan untuk menyesuaikan putaran dari pengaduk sama dengan kecepatan putaran tangan manusia. Kecepatan putaran pada poros pengaduk yang diinginkan adalah sekitar 20 ppm.

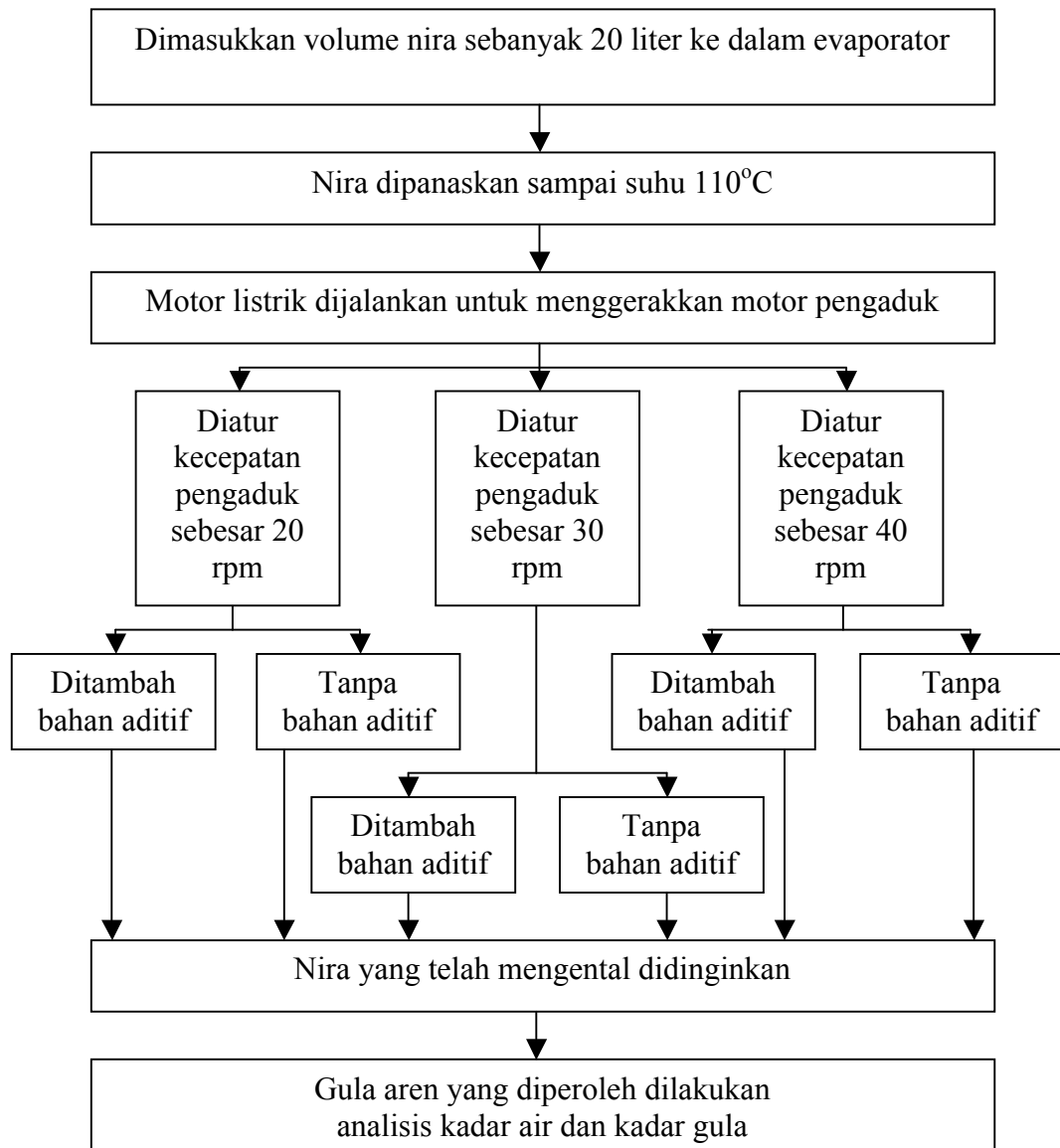
Evaporator yang dibuat kemudian ditopang dengan penyangga. Penyangga yang digunakan terbuat dari plat besi siku dengan panjang 100 cm dengan tinggi 50 cm dan lebar 50 cm. Penyangga yang dibuat berbentuk seperti meja dengan empat kaki penyangga yang dihubungkan dengan plat besi agar keempat kaki tersebut kokoh. Dibuat pula penyangga untuk meletakkan motor penggerak. Penyangga ini dibuat dengan panjang 30 cm, lebar 50 cm, dan tinggi 75 cm.

3.4.2. Tahap Instalasi dan Uji Coba Alat Evaporator Nira Aren

Pada tahap instalasi dilakukan perangkaian komponen alat dan pengujian awal alat dalam keadaan kosong dan dengan diisi dengan air. Selanjutnya evaporator diisi dengan nira aren dan dilakukan uji coba performansi alat dan kualitas gula aren yang dihasilkan. Uji performansi alat dilakukan dengan melakukan penimbangan tabung gas elpiji yang digunakan untuk mengetahui jumlah gas terkonsumsi selama proses evaporasi. Adapun hasil aktual konsumsi bahan bakar akan digunakan untuk menghitung efisiensi alat aktual selama proses evaporasi. Uji kualitas gula aren yang dihasilkan diamati melalui analisis kadar air, kadar gula dan uji organoleptik terhadap gula aren hasil evaporasi pada kedua variabel yang diamati yaitu variabel kecepatan pengadukan dari alat evaporator silinder horisontal dan penambahan bahan aditif natrium bisulfit. Adapun analisis kadar air dan kadar gula dilakukan pada setiap variasi diamati sedangkan uji organoleptik dilakukan terhadap dua hasil terbaik dari gula aren dengan penambahan pengawet dan tanpa penambahan pengawet. Selanjutnya dilakukan analisis dari data yang diperoleh sehingga dapat ditarik suatu kesimpulan yang dapat menjadi landasan untuk penelitian selanjutnya.

3.5 Skema prosedur percobaan

Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besarnya pengadukan dan pengaruh penambahan zat aditif terhadap gula aren yang diperoleh. Skema pelaksanaan prosedur percobaan yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Skema prosedur percobaan utama

Matriks variasi percobaan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Matriks variasi percobaan dalam penelitian

Pengadukan (A)	Volume umpan			
	Penggunaan Bahan aditif			
	Tanpa bahan aditif (B1)		Dengan bahan aditif (B2)	
A1	A ₁ B _{1,1}	A ₁ B _{1,2}	A ₁ B _{2,1}	A ₁ B _{2,2}
A2	A ₂ B _{1,1}	A ₂ B _{1,2}	A ₂ B _{2,1}	A ₂ B _{2,2}
A3	A ₃ B _{1,1}	A ₃ B _{1,3}	A ₃ B _{2,1}	A ₃ B _{2,2}

3.6 Analisis kimia

Analisa kimia yang dilakukan pada penelitian ini meliputi :

1. Analisis kadar air

Untuk prosedur kerja analisa kadar air dapat dilihat pada lampiran A.

2. Analisis kadar gula

Analisa kadar gula dilakukan beberapa tahap yaitu persiapan pembuatan larutan contoh, sebelum inversi, dan sesudah inversi. Prosedur percobaan untuk analisa kadar gula dapat dilihat pada lampiran A.

3.7 Uji organoleptik^[22]

Uji organoleptik adalah uji yang dilakukan terhadap gula aren yang diperoleh. Dimana untuk uji ini dilakukan dengan menggunakan tiga buah sampel. Dimana dua sampel sama dan satu sampel berbeda. Kemudian panelis memilih sampel mana yang paling berbeda rasanya. Ketiga sampel tersebut kemudian disajikan kepada 15 panelis/responden. Dengan acuan bahwa panelis yang tidak profesional minimal 15 orang. Dibawah ini tabel yang digunakan untuk melakukan penilaian terhadap produk gula aren yang diperoleh :

Tabel 3.2 Penilaian uji organoleptik

NOMOR	KODE			SAMPEL YANG BERBEDA
1	211	534	909	
2	171	705	130	
3	380	438	984	
4	765	641	852	
5	301	867	963	
6	430	496	756	
7	295	971	951	
8	305	891	863	
9	818	791	759	
10	824	151	891	
11	561	247	660	
12	423	681	287	
13	798	597	610	
14	634	432	577	
15	860	598	113	

3.8 Lokasi dan jadwal kerja

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Penelitian Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia Universitas Katholik Parahyangan. Rencana kerja ditampilkan dalam Tabel 3.3 seperti di bawah ini.

Tabel 3.3 Jadwal kerja

No	Kegiatan	Feb 2008	Mar 2008	Apr 2008	Mei 2008	Jun 2008	Jul 2008	Agt 2008	Sep 2008	Okt 2008	Nov 2008	Des 2008	Jan 2009	Feb 2009	Mar 2009
1	Persiapan														
2	Perancangan alat														
3	Rekonstruksi alat														
4	Uji coba alat dan analisis hasil														
5	Presentasi hasil														
6	Penyusunan														

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Hasil konstruksi alat evaporator

Berdasarkan rancangan yang telah dilakukan, alat evaporasi ini dikonstruksi dengan komponen-komponen sebagai berikut :

1. Bagian tabung evaporasi



Gambar 4.1 Tabung evaporasi

2. Bagian kaki penyangga



Gambar 4.2 Kaki penyangga

3. Bagian pembakar



Gambar 4.3 Pembakar

4. Bagian motor listrik



Gambar 4.4 Motor listrik

5. Bagian pengatur putaran pengaduk



Gambar 4.5 Pengatur putaran pengaduk

6. Bagian pengaduk



Gambar 4.6 Pengaduk

7. Bagian penyaring



Gambar 4.7 Penyaring

4.2 Perancangan pengaduk dan kekuatan motor listrik

Pengaduk yang digunakan dalam alat evaporasi ini terbuat dari bahan stainless steel dimana tipe dari pengaduk ini adalah tipe *screw horizontal conveyour with ribbon type flight*. Pemilihan tipe *screw* karena bahan yang digunakan bersifat kental dan lengket sehingga diperlukan pengaduk yang kuat agar tidak patah pada saat dilakukan pengadukan sedangkan pemilihan *tipe ribbon flight* karena bahan cukup lengket pada dinding sehingga diharapkan pengaduk yang ukurannya sangat dekat dengan dinding akan membantu memindahkan cairan nira yang menempel pada dinding kembali ke bagian tengah tabung.

Pada proses perancangan kekuatan motor listrik didasarkan pada persamaan sebagai berikut^[32] :

$$HP_f = \frac{L N F_d f_b}{1000000} \text{ (dalam keadaan alat masih kosong)(4.1)}$$

$$HP_m = \frac{C L W F_f F_m F_p}{1000000} \text{ (dalam keadaan alat telah terisi material)(4.2)}$$

$$\text{Total HP} = \frac{(HP_f + HP_m) F_o}{e} \text{(4.3)}$$

Berdasarkan persamaan diatas, dilakukan beberapa penentuan faktor yang berpengaruh melalui tabel 2.7 sampai 2.14 (lihat Bab II dan lampiran D) sebagai berikut :

- (1) Jenis material yang digunakan diklasifikasikan *sugar beet, pulp, wet*.
- (2) Berat dari material berdasarkan jenis material berkisar 25-45 lbs/ft³.
- (3) Nilai dari F_m sebesar 1.2.
- (4) *Trough loading* sebesar 30A.
- (5) Panjang alat sebesar 60 cm (1,97 ft).
- (6) *Operating speed maximum* sebesar 85 RPM.
- (7) Nilai dari F_d sebesar 78.
- (8) Nilai dari F_b sebesar 2,0.
- (9) Kapasitas sebesar 2,01 ft³/h.
- (10) Weight of material sebesar 45 lbs/ft³.
- (11) Nilai dari F_f sebesar 1,14.
- (12) Nilai dari F_p sebesar 1,0.
- (13) Nilai dari F_o sebesar 3.
- (14) Nilai dari e sebesar 0,88.

Berdasarkan nilai-nilai dari tiap konstanta yang telah ditetapkan, maka akan diperoleh bahwa nilai dari HP_f sebesar 2,61 . 10⁻², dan nilai dari HP_m sebesar 3,12 . 10⁻⁴. Dari kedua nilai tersebut kemudian diperoleh nilai dari kekuatan motor listrik sebesar 0,10 HP. Berdasarkan perhitungan tersebut maka digunakan kekuatan motor listrik terkecil dijual di pasaran yaitu sebesar 1 HP agar dapat menggerakkan pengaduk pada kecepatan maksimal dari alat yaitu sebesar 85 rpm.

4.3 Perancangan tabung evaporator

Pada perancangan tabung evaporator ini digunakan bahan dari stainless steel. Penggunaan stainless steel karena tidak ikut bereaksi dan tahan dari karat sehingga aman selama dilakukan proses pemasakan.

Tabung evaporator yang dibuat ditetapkan terlebih dahulu volume yang diinginkan yaitu sebesar 75 liter. Kemudian dengan perbandingan antara panjang dan diameter sebesar 3 : 2, diperoleh bahwa diameter dari alat adalah sebesar 39,92 cm (40 cm), sedangkan untuk panjang didapat sebesar 60 cm.

4.4 Kebutuhan kalor teoritis ($Q_{total\ teoritis}$)

Untuk proses pemasakan nira terdapat beberapa asumsi untuk perhitungannya. Asumsi yang digunakan antara lain :

1. Kadar air awal nira aren seragam yaitu sebesar 87,2 % b H₂O.
2. Kadar air akhir yang diinginkan adalah sebesar 10 % b H₂O (SNI).
3. Temperatur awal dari nira aren yang digunakan seragam yaitu 25°C.
4. Temperatur pemasakan nira konstan yaitu sebesar 110°C.
5. Nira aren hanya terdiri dari komponen sukrosa dan air murni saja.
6. Selama proses pemasakan, energi dibutuhkan hanya untuk penguapan dan kenaikan temperatur padatan sukrosa dan sisa air saja, sedangkan proses perubahan warna-aroma nira (karamelisasi) tidak membutuhkan energi.

Adapun volume dari nira yang digunakan adalah 1/4 kapasitas volume total alat dikarenakan kesulitan dalam memperoleh dan mendistribusikan nira aren selama proses penelitian. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa proses evaporasi secara teoritis membutuhkan kalor ($Q_{pemasakan}$) sebesar **3,81 kJ/s**.

Untuk perhitungan gas yang hilang selama proses pemasakan (Q_{loss}), dilakukan perhitungan secara konveksi dan secara radiasi. Perpindahan panas secara radiasi terjadi dari panas yang dihasilkan pada proses pembakaran gas LPG menuju ke lingkungan sekitar. Asumsi yang digunakan untuk proses perpindahan panas secara radiasi adalah :

1. Temperatur dari proses pembakaran gas LPG adalah sebesar 1412,5°C.
2. Nilai dari emisifitas bahan evaporator (*stainless steel*) adalah sebesar 0,81.

3. Temperatur lingkungan sekitar sebesar 25°C.

Berdasarkan asumsi yang digunakan, digunakan persamaan untuk perpindahan panas secara radiasi yaitu sebagai berikut:

$$h_r = \frac{\sigma \cdot \varepsilon \cdot [(T_1 \text{ abs})^4 - (T_2 \text{ abs})^4]}{T_1 \text{ abs} - T_2 \text{ abs}} \dots\dots\dots(4.4)$$

Dari persamaan tersebut diperoleh bahwa konstanta perpindahan panas secara radiasi (h_r) adalah sebesar **1,30 BTU/h-ft² °F**.

Perpindahan panas secara konveksi terjadi karena adanya aliran api yang mengalami perpindahan panas sepanjang alat evaporator menuju ke larutan yang mengalami proses pemasakan. Dalam hal ini evaporator dianggap berbentuk seperti pipa yang horizontal.

Untuk perpindahan panas secara konveksi digunakan persamaan sebagai berikut

$$h = 0,27 \cdot (\Delta t/D)^{0,25} \dots\dots\dots(4.5)$$

berdasarkan persamaan 4.2 maka diperoleh konstanta perpindahan panas secara konveksi (h) adalah sebesar **0,83 BTU/h ft² °F**.

Gas yang hilang selama proses pemasakan terjadi pada seluruh bagian alat dari evaporator yang digunakan. Sehingga dapat diasumsikan bahwa panas yang hilang terutama terjadi pada permukaan tabung evaporator dan bagian penyangga. Total area yang mengalami perpindahan panas didominasi oleh dinding tabung evaporasi (Gambar 4.1) dan bagian kaki penyangga (Gambar 4.2) sebesar 25,9842ft². Oleh karena itu dengan mengkombinasikan perpindahan panas secara radiasi dan perpindahan secara konveksi sepanjang total area yang mengalami proses perpindahan panas maka akan diperoleh **Q_{loss} sebesar 2,48 kj/s**.

Jumlah kalor total ($Q_{total \text{ teoritis}}$) adalah penjumlahan dari $Q_{pemasakan}$ dan Q_{loss} yaitu **6,29 kj/s**. Dari data-data tersebut dapat diperoleh **efisiensi alat teoritis** ($Q_{pemasakan} : Q_{loss}$) adalah **60,57%**.

4.5 Kebutuhan bahan bakar teoritis

Kebutuhan bahan bakar teoritis adalah jumlah bahan bakar yang dibutuhkan secara perhitungan teoritis untuk menghasilkan energi yang

dibutuhkan selama proses evaporasi nira aren. Gas yang digunakan sebagai sumber energi adalah gas LPG. Adapun kalor total ($Q_{totalteoritis}$) dibutuhkan adalah **6,29 kJ/s** (lihat subbab 4.4).

Bahan bakar yang digunakan pada alat evaporasi ini adalah LPG (*Liquified Petroleum Gas*). Kandungan yang terdapat dalam LPG adalah sebagai berikut:

1. Campuran antara propana dan butana sebesar 97,5 %-b
2. Pentana 2,5 %-b.

Perbandingan campuran antara propana dan butana adalah sebesar 30: 70. Tekanan yang terdapat dalam tabung LPG adalah sekitar 4 - 5 kg/cm². Dari perbandingan komposisi propana dan butana tersebut akan diperoleh komposisi dari propana dan butana sebesar 29,25 %b dan 68,25 %b.

Untuk menghitung laju gas yang digunakan untuk proses pada evaporator ini maka diasumsikan bahwa kalor yang dilepas oleh LPG ($Q_{lepasLPG}$) sama dengan kalor total teoritis ($Q_{totalteoritis}$). Sedangkan kalor yang dilepas LPG adalah total panas pembakaran dari gas-gas yang terdapat didalam LPG (29,65 %-b propana, 68,25 %-b butana dan 2,5 %-b pentana).

Kalor pembakaran untuk tiap bahan yang terdapat didalam LPG adalah sebagai berikut:

1. Kalor pembakaran propana = 12030 kcal/kg
2. Kalor pembakaran butana = 11830 kcal/kg
3. Kalor pembakaran pentana = 11600 kcal/kg

Berdasarkan nilai dari kalor pembakaran dan komposisi tiap bahan yang terkandung didalam LPG, maka laju gas yang dibutuhkan selama proses sebesar $1,27 \cdot 10^{-4}$ kg/s atau 1,4 kg per 3 jam (3 jam adalah waktu pembuatan gula aren dari nira aren).

4.6 Kebutuhan bahan bakar aktual

Kebutuhan bahan bakar aktual adalah jumlah bahan bakar sesungguhnya yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi yang dibutuhkan selama proses evaporasi nira aren. Bahan bakar yang digunakan sebagai sumber energi adalah gas LPG. Kebutuhan gas LPG aktual diperoleh dari penimbangan berat tabung

LPG awal (waktu ke-0) dan akhir (waktu pada jam ketiga) proses evaporasi di mana selisih berat tabung LPG awal dan akhir adalah jumlah gas LPG terkonsumsi selama proses dalam evaporator berlangsung.

Adapun dari data percobaan diperoleh bahwa *konsumsi gas LPG* selama proses evaporasi bervariasi dari *1* sampai *1,5 kg per 3 jam* atau dengan laju kalor sebesar *4,62 kJ/s* sampai *6,93 kJ/s*.

4.7 Efisiensi alat aktual

Efisiensi alat aktual dihitung dengan membandingkan $Q_{pemasakan}$ dengan $Q_{lepasLPG}$ sesungguhnya (lihat subbab 4.5). Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa *efisiensi alat aktual* berkisar antara *54,98% - 82,47%*. Variasi data efisiensi aktual disebabkan oleh karena variasi tekanan dalam tabung yang mempengaruhi laju gas keluar tabung dan akhirnya mempengaruhi energi pembakaran. Variasi ini terjadi karena jumlah gas awal dalam tabung yang berbeda-beda saat melakukan percobaan. Pada saat gas yang tersisa sedikit, tekanan rendah, laju gas kecil sehingga sebenarnya dibutuhkan waktu lebih lama untuk proses pemasakan (waktu sebenarnya tidak sama tiga jam untuk setiap percobaan). Hal ini mengakibatkan peristiwa radiasi dan konveksi sepanjang alat ke lingkungan juga berlangsung lebih lama (Q_{loss} lebih besar) sementara kebutuhan kalor tetap ($Q_{pemasakan}$ tetap) sehingga terjadi kehilangan panas yang cukup besar dan mencapai hampir 50% dari total kalor dipasok ke alat.

4.8 Perbandingan efisiensi alat teoritis dan efisiensi alat aktual

Berdasarkan pengamatan sebelumnya (subbab 4.4 dan 4.6, antara *efisiensi alat teoritis (60,57 %)* dan *efisiensi alat aktual (52,98% – 82,47%)* terdapat perbedaan. Perbedaan dengan nilai *efisiensi alat aktual minimum (52,98%)* kemungkinan besar disebabkan karena laju gas yang bervariasi (lihat penjelasan di subbab 4.6). Adapun perbedaan dengan *nilai efisiensi alat aktual maksimum (82,47%)* menunjukkan bahwa asumsi awal bahwa bagian tabung yang mengalami radiasi dan konveksi ke lingkungan sekitar terdiri dari seluruh permukaan tabung dan kaki penyangga adalah kurang tepat. Kemungkinan besar

bagian kaki penyangga hanya sebagian saja yang mengalami radiasi dan konveksi yang cukup besar, yaitu bagian yang banyak terkena panas dari api saja, namun perhitungan luas bagian yang memberikan radiasi dan konveksi yang signifikan secara tepat dan akurat agak sulit dilakukan mengingat laju panas dari gas tidak seragam ke seluruh bagian kaki penyangga.

4.9 Uji Coba

Uji coba dilakukan dengan menggunakan nira aren dengan volume awal 20 liter dengan variasi kecepatan pengadukkan 20 rpm, 30 rpm, 40 rpm, dengan dan tanpa penambahan aditif pengawet makanan natrium bisulfit. Proses evaporasi berlangsung secara *batch* selama 180 menit. Dari hasil percobaan didapat hasil perubahan kadar air dan kadar gula. Gula yang dihasilkan diuji organoleptik pula untuk mengetahui cita rasanya.

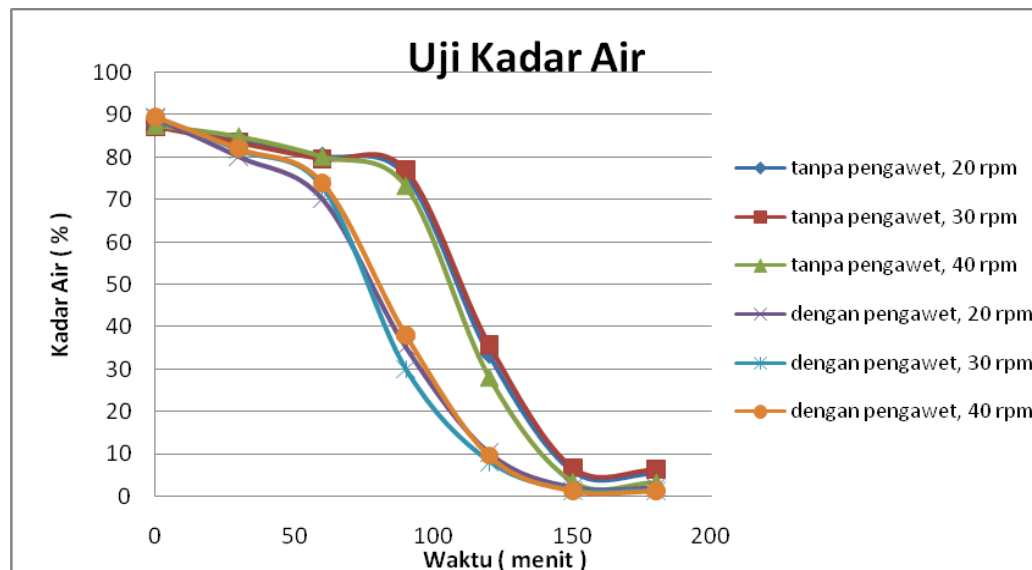
4.9.1 Analisis kadar air

Hasil analisis kadar air dapat dilihat pada tabel 4.1 dan grafiknya dapat dilihat pada gambar 4.8.

Tabel 4.1 Hasil analisis uji kadar air

Waktu (Menit)	Kadar Air (%)					
	Tanpa Pengawet			Dengan Pengawet		
	20 rpm	30 rpm	40 rpm	20 rpm	30 rpm	40 rpm
0	87.22	87.31	87.64	89.22	89.52	89.5
30	84.22	83.57	85.15	80.14	81.72	82.12
60	80.31	79.68	80.22	70.14	73.06	74.08
90	75.13	77.07	73.32	35.215	30.04	38.15
120	33.36	35.85	28.10	10.22	8.23	9.63
150	5.95	6.92	3.44	2.13	1.52	1.36
180	5.41	6.41	3.26	2.035	1.4	1.27

Keterangan : Penetapan kadar air pada evaporasi nira aren pada evaporator tipe horizontal dengan pengaduk bentuk ulir pada kondisi volume nira aren 20 L, suhu 110°C, kecepatan pengadukkan 20 rpm, 30 rpm, 40 rpm, tanpa bahan pengawet dan dengan bahan pengawet



Gambar 4.8 Penurunan kadar air pada proses evaporasi nira aren.

Pada waktu percobaan uji kadar air dilakukan dengan menggunakan *moisture analyzer*. Pada *moisture analyzer* bahan yang hendak diuji minimal memiliki massa 0,1 gram. Jika bahan yang hendak diuji berupa cairan maka perlu digunakan membran khusus. Prinsip kerja dari alat ini adalah bahan yang hendak diuji dikeringkan dan air yang dilepas dari bahan merupakan kadar air yang terkandung pada bahan tersebut.

Dari hasil uji kadar air didapat hasil kadar air yang terus menurun seiring bertambahnya waktu evaporasi seperti terlihat pada gambar 4.1. Pada menit ke-60 hingga menit ke-150 terdapat penurunan kadar air yang sangat signifikan. Pada waktu 0-50 menit merupakan periode laju naik, dimana mulai terjadi pemanasan bahan. Kadar air yang turun hanya sedikit karena panas digunakan lebih banyak untuk pemanasan bahan. Dari waktu 50-100 menit merupakan laju pengeringan konstan pada proses pengeringan. Pada laju pengeringan konstan terjadi proses evaporasi. Oleh karena itu kadar air pada gula aren menurun secara signifikan. Pada waktu 100-150 menit merupakan laju menurun pada proses pengeringan, dimana air yang diuapkan seiring dengan bertambahnya waktu semakin menurun hingga mencapai kadar air terendah yang dapat dilepas oleh bahan. Pada waktu

150-180 menit merupakan waktu penyesuaian kadar air dalam bahan sehingga dari grafik terlihat bahwa kadar air naik tapi hanya sedikit sekali.

Dari gambar 4.8 terlihat bahwa dengan penambahan pengawet kadar air lebih cepat turun. Hal ini mungkin disebabkan oleh sifat natrium bikarbonat yang higroskopis yang mempengaruhi proses penguapan air. Akan tetapi hal ini perlu diteliti lebih lanjut pada percobaan-percobaan selanjutnya dengan variasi data yang lebih banyak dan berulang sehingga dapat dilakukan pengolahan data secara statistik untuk menguji signifikansi perbedaan data yang diperoleh.

Dari Grafik di atas di dapat persamaan kadar air sebagai fungsi waktu sebagai berikut :

- a. Tanpa pengawet, 40 rpm
 $\% \text{-kadar air} = -0.002t^2 - 0.167t + 92.00$
- Tanpa pengawet, 30 rpm
 $\% \text{-kadar air} = -0.002t^2 - 0.080t + 89.87$
- b. Tanpa pengawet, 20 rpm
 $\% \text{-kadar air} = -0.002t^2 - 0.104t + 90.51$
- c. Dengan pengawet, 40 rpm
 $\% \text{-kadar air} = 0.000t^2 - 0.705t + 97.92$
- d. Dengan pengawet, 30 rpm
 $\% \text{-kadar air} = 0.001t^2 - 0.798t + 98.62$
- e. Dengan pengawet, 20 rpm
 $\% \text{-kadar air} = 0.001t^2 - 0.744t + 96.86$

Dari persamaan di atas dan grafik 4.8 terlihat bahwa waktu tercepat untuk mencapai kadar air sebesar 0% pada pembuatan gula tanpa pengawet didapat pada kecepatan 30 RPM. Sedangkan jika diinginkan kadar air sebesar 10%, sesuai dengan SNI, diperoleh bahwa kecepatan terbaik didapat pada pembuatan gula dengan pengawet dengan kecepatan 40 RPM. Akan tetapi perbedaan yang diperoleh tidak terlalu signifikan antara kecepatan 20, 30 dan 40 RPM. Perbedaan yang sangat signifikan adalah pada penggunaan pengawet dan tanpa pengawet. Mengenai pengaruh kecepatan RPM ini perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan repetisi data sehingga dapat dibuktikan secara statistik signifikansi perbedaan RPM terhadap hasil yang diperoleh.

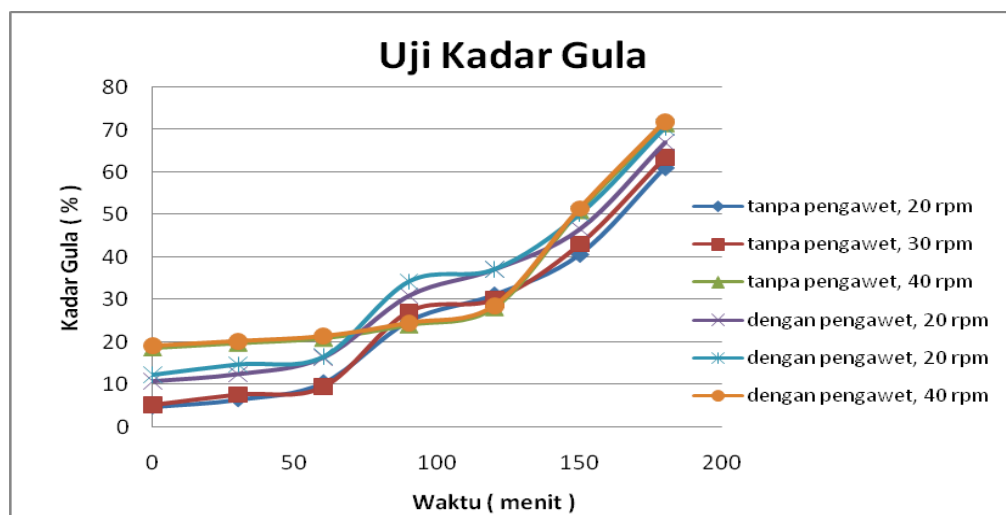
4.9.2 Analisis kadar gula

Hasil analisis kadar gula total dari gula aren yang diperoleh dapat dilihat pada table 4.2 dan grafiknya dapat dilihat pada gambar 4.2

Tabel 4.2 Hasil analisis uji kadar gula

Waktu (Menit)	Kadar Gula (%)					
	Tanpa Pengawet			Dengan Pengawet		
	20 rpm	30 rpm	40 rpm	20 rpm	30 rpm	40 rpm
0	4.86	5.402	18.679	10.6285	12.449	19.403
30	6.538	7.867	19.802	12.3315	14.914	20.526
60	10.69	9.691	20.959	16.2635	16.738	21.683
90	25.034	27.422	24.09	30.7825	34.469	24.814
120	31.1255	30.295	28.149	36.9835	37.342	28.873
150	40.6435	43.319	51.03	46.4715	50.366	51.754
180	61.153	63.779	71.49	66.9315	70.826	72.214

Keterangan: Penetapan kadar gula pada evaporasi nira aren pada evaporator tipe horizontal dengan pengaduk bentuk ulir pada kondisi volume nira aren 20 L, suhu 110°C, kecepatan pengadukkan 20 rpm, 30 rpm, 40 rpm, tanpa bahan pengawet dan dengan bahan pengawet



Gambar 4.9 Kenaikan kadar gula pada proses evaporasi nira aren

Pengujian kadar gula total dilakukan dengan menggunakan metode Luff school. Metode ini dipilih karena dapat menghitung kadar gula total dari gula.

Sedangkan metode lain hanya dapat menghitung kadar gula reduksinya saja. Pertama-tama, sampel sebelum dan sesudah inversi dititrasi dengan larutan tiosulfat. Dari hasil perhitungan titrasi didapat kadar gula sebelum dan sesudah inversi. Kadar gula total didapat dari hasil penambahan kadar sukrosa dan kadar gula sebelum inversi.

Dari pengujian tersebut didapat hasil kadar gula yang cenderung naik seiring dengan bertambahnya waktu evaporasi. Hal ini terjadi karena kandungan air dalam nira aren semakin menurun sehingga konsentrasi gula dalam nira semakin pekat. Pada waktu 0-50 menit merupakan laju pengeringan naik. Kenaikan kadar gula hanya sedikit karena sebagian besar kalor digunakan untuk pemanasan bahan. Pada waktu 50-100 menit merupakan laju pengeringan konstan. Pada saat ini terjadi proses evaporasi air, sehingga dapat terlihat bahwa ada kenaikan kadar gula yang cukup signifikan. Pada waktu 100-150 menit merupakan laju pengeringan menurun dimana kadar air semakin menurun seiring dengan bertambahnya waktu. Penurunan kadar air menyebabkan kadar gula semakin tinggi karena sebagian besar kandungan nira adalah gula dan air, sehingga jika air yang diuapkan semakin banyak maka kandungan gula dalam nira semakin besar.

Dari Grafik di atas di dapat persamaan kadar gula sebagai fungsi waktu sebagai berikut :

- a. Tanpa pengawet, 40 rpm
 $y = 0.002x^2 - 0.221x + 21.37$
- b. Tanpa pengawet, 30 rpm
 $y = 0.001x^2 + 0.057x + 4.318$
- c. Tanpa pengawet, 20 rpm
 $y = 0.001x^2 + 0.040x + 4.974$
- d. Dengan pengawet, 40 rpm
 $y = 0.002x^2 - 0.221x + 21.87$
- e. Dengan pengawet, 30 rpm
 $y = 0.001x^2 + 0.040x + 11.98$
- f. dengan pengawet, 20 rpm
 $y = 0.001x^2 + 0.057x + 10.16$

Dari gambar 4.9 terlihat bahwa ada kemiripan grafik pada kecepatan pengadukan 20 dan 30 RPM namun terdapat perbedaan yang nyata dengan

kecepatan pengadukan 40 RPM. Dari grafik tersebut terlihat jelas bahwa kadar gula maksimum diperoleh pada pembuatan gula aren dengan kecepatan pengadukan 40 RPM dan tidak ada perbedaan yang signifikan antara sampel dengan dan tanpa pengawet. Pada menit ke 180, kadar gula tertinggi diperoleh pada kecepatan pengadukan 40 RPM namun sebelumnya pada menit ke 50 dan 150, kecepatan pengadukan 30 RPM menunjukkan kadar gula yang paling tinggi. Mengenai fenomena ini, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan repetisi data sehingga dapat dilakukan pengolahan data secara statistik untuk menguji signifikansi perbedaan hasil yang diperoleh.

4.9.3 Analisis uji organoleptik

Metode yang digunakan untuk uji organoleptik adalah *triangle test*, di mana setiap panelis mencoba 3 (tiga) buah sampel dan menentukan mana sampel yang berbeda secara nyata dari segi rasanya. Dari hasil uji tersebut, didapat data sebagai berikut :

Tabel 4.3 Penilaian sampel

KODE	Rasa	
	Benar	Salah
AAB		V
BBA	V	
ABA		V
BAB		V
AAB		V
BBA		V
BAA		V
ABB	V	
BAB		V
BBA	V	
BAB		V
ABA		V
AAB		V
BAB	V	
ABA		V
JUMLAH	4	11

Dari tabel 4.3 terlihat bahwa responden yang dapat menjawab benar sebanyak 4 orang dan responden yang menjawab salah sebanyak 11 orang. Dari tabel uji *triangle test* pada lampiran E ^[22] diketahui bahwa perbedaan rasa dianggap signifikan jika responden yang menjawab benar sebanyak 9 orang. Berdasarkan hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan pengawet dalam pembuatan gula aren tidak memberikan perubahan cita rasa gula tersebut.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Efisiensi alat masih bervariasi dan masih rendah yaitu antara 52,96% - 82,47%
2. Penambahan pengawet natrium bisulfit mempercepat proses evaporasi sehingga waktu yang diperlukan untuk mencapai kadar air 10% menjadi lebih cepat sekitar 30 menit dibandingkan proses evaporasi tanpa pengawet.
3. Penambahan bahan pengawet tidak memberikan perbedaan rasa dan aroma yang nyata pada gula aren yang dihasilkan.

5.2 Saran

1. Tipe pembakar yang digunakan kurang efisien karena api hanya terkena di bagian tengah tabung. Oleh karena itu perlu dilakukan modifikasi terhadap tipe pembakar agar distribusi panas lebih merata dan efisien alat dapat ditingkatkan. Adapun jika ternyata setelah dimodifikasi efisiensi alat masih rendah, perlu dipertimbangkan penambahan insulasi di sekitar tabung evaporator yang tidak terkena langsung dengan api.
2. Perlu ditambahkan *termocouple* dan *temperature controller* sehingga panas tidak hanya terbatas pada 110°C saja tetapi dapat divariasikan sebagai variabel yang diamati.
3. Perlu diadakan penelitian lanjutan tentang pengaruh penambahan aditif natrium bisulfit dan bahan-bahan aditif lainnya terhadap laju evaporasi dalam alat evaporator horisontal ini.
4. Perlu diadakan penelitian lanjutan tentang pengaruh penambahan aditif natrium bisulfit terhadap lama simpan (*shelflife*) dari produk gula aren yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Atih Suryati Herman dan M.Yunus, *Kandungan Mineral Nira dan Gula Semut Asal Aren*, *J. Of Agro-based Industry*, Vol. 4, No. 2, pp. 48-51, 1987.
2. Departemen Pertanian (Deptan), *Data Perkebunan Aren*, website: database.deptan.go.id (Tanggal akses: 4 Desember 2008)
3. Sardjono, A.Basrah Enie, dan Oyok Sukardi, *Penelitian Pengemasan Gula Merah Cetak*, *J. of Agro-based Industry*, Vol. 4, No. 1, pp 13-16, 1987.
4. Sardjono dan M.A. Dachlan, *Penelitian Pencegahan Fermentasi pada Penyadapan Nira Aren sebagai Bahan Baku Gula Merah*, *J. of Agro-based Industri*, Vol. 5, No. 2. pp. 55-58, 1988.
5. Departemen Pertanian (Deptan), *Gula merah*, website: www.pustaka-deptan.go.id/agritech/ppua0141.pdf (Tanggal akses: 4 Desember 2008)
6. IPB, Kumpulan Tulisan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Tepat Guna : *Pembuatan Gula Kelapa Cetak*, website: ebooks.lib.unair.ac.id/ristek2/artikel/pangan/IPB/Pembuatan%20gula%20kelapa%20cetak.pdf (Tanggal akses: 28 Februari 2009)
7. Setia Kawan edisi 196 tahun XV Desember 1993, Balai Industri Ujung Padang, 1993

8. Formulasi Steril edisi 28 Mei 2008, *Preformulasi Vial - Natrium bisulfit (Handbook of pharmaceutical excipient hal. 452)*, website: formulasisteril.blogspot.com/2008/05/preformulasi-vial.html (Tanggal akses: 28 Februari 2009)
9. M.Maman Rohaman, Edna W.Fasya, dan Ign Suharto, *Pengaruh Suhu, Kelembaban Relatif dan Jenis Pengemas Terhadap Mutu dan Umur Masa Simpan Gula Semut*, *J.Agro-Based Industry*, vol.19, no.1-2,2002,hal.12-18
10. Donald Q. Kern, *Process heat transfer*, Mc Graw Hill International Editions, 1965
11. Pertamina, *Mengenal Elpiji: Lebih Dalam Tentang Elpiji*, website: www.pertamina.com/konversi/elpiji.php (Tanggal akses: 7 Januari 2009)
12. Wikipedia, *Arenga pinnata*, website: en.wikipedia.org/wiki/Arenga_pinnata (Tanggal akses: 5 Juni 2008)
13. Wikipedia, *Enau*, website: en.wikipedia.org/wiki/Enau (Tanggal akses: 5 Juni 2008)
14. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, *Aren Budidaya dan Prospeknya*, Pusat Konversi Tumbuhan Kebun Raya Bogor, 2003.
15. Dewan Standarisasi Nasional (DSN), *Standar Nasional Indonesia (SNI) no. 01-3743-1995 ICS 67.180.20: Gula palma*, 1995.
16. Askin, Siswoyo Soekarno, Overa Puspita, *Desain Alat Evaporator Nira Kelapa untuk proses pembuatan Gula Kelapa*, *J. Teknik Pertanian (J-TEP)* vol. 1 no. 2, Oktober 2004, Universitas Jember, website: www.ftp.unej.ac.id/jtep/vol1no2/7.pdf

17. Christie J. Geankoplis, *Transport Processes and Unit Operations*, 3rd edition, Prentice Hall PTR, 1993.
18. Stanley M. Walas, *Chemical Process Equipment*, Butterworth Publishers, 1988.
19. Program Studi Fakultas Teknik Universitas Indonesia, *Portfolio Bahan Bakar Cair*, 2001-2002, Universitas Indonesia, Jakarta.
20. Boma Wikantyoso, *Satuan operasi dalam proses pangan*, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 1988/1989
21. The Engineering Department of Martin manufacturers, *Engineering Section I: Screw Conveyor Design Procedure*, Martin manufacturers, website: www.martinsprocket.com/secha.htm
(Tanggal akses: 23 Agustus 2008)
22. Gisela Jellinek, *Sensory Evaluation of Food, Theory and Practice*, International Publishers in Science and Technology, England, hal. 270-273
23. AspenTech, *aspenONE™ Process Engineering applications: Hysys v.32 (build5029) physical properties data*, Aspen Tech. Inc. Polar engineering and consulting, copyright 1995-2003
24. Ir. Hieronymus Budi Santoso, *Pembuatan gula kelapa*, Penerbit Kanisius, Yogyakarta, 1993