

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan, antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkesinambungan (*sustainable*). (Rakhmat Kurniawan, 2017).

Penggunaan biomassa sebagai sumber energi sangat menarik karena energi biomassa merupakan sumber energi yang bersih dari CO₂, oleh karenanya tidak berkontribusi pada peningkatan emisi gas rumah kaca. ini juga berarti biomassa adalah netral karbon (Yokoyama 2008).

2.2 Teknologi Konversi Biomassa

Secara umum teknologi konversi biomassa menjadi bahan bakar dapat dibedakan menjadi tiga yaitu pembakaran langsung, konversi termokimiawi dan konversi biokimiawi. Pembakaran langsung merupakan teknologi yang paling sederhana karena pada umumnya biomassa telah langsung dibakar. Konversi termokimia merupakan teknologi yang memerlukan perlakuan termal untuk memicu reaksi kimia dalam menghasilkan bahan bakar. Sedangkan konversi biokimiawi merupakan teknologi konversi yang menggunakan bantuan mikroba dalam menghasilkan bahan bakar. Salah satu contoh teknologi biomassa yaitu biopellet (Elyvani, 2015).

Biopellet adalah bahan bakar pemanas yang terbuat dari residu biomassa yang dapat didaur ulang. Secara umum, residu yang dimaksud adalah penggergajian dan limbah pertanian. Biopellet merupakan potongan kecil seperti kapsul dan ramah lingkungan, terbarukan, biaya stabil dan merupakan bahan bakar karbon netral (Abellon Cleanenergy, 2015). Pada umumnya, biopellet yang dihasilkan mempunyai diameter 8-11 mm dan panjang 15-20 mm. Penambahan

perekat yang digunakan pada proses pembuatan biopelet yaitu 0,5-5% sedangkan ukuran mesh yang digunakan ialah ukuran 40-60 mesh.(Muhammad Faisal Mahdie, Darni Subari, Sunardi et al., 2016).Terdapat 6 tahapan proses pembuatan biopelet, yaitu: perlakuan pendahuluan bahan baku (*pre-treatment*), pengeringan (*drying*), pengecilan ukuran (*size reduction*), pencetakan biopelet (*pelletization*), pendinginan (*cooling*), dan *silage* (Buratti et al., 2012).Adapun standar kualitas biopelet berdasarkan SNI 8021-2014 dan beberapa negara dapat dilihat berturut-turut pada tabel 2.1 dan 2.2.

Tabel 2.1.Standar Kualitas Biopelet Berdasarkan SNI 8021-2014

Parameter	Nilai
Kadar Air (%)	≤ 12%
Kadar Abu (%)	≤ 1,5%
Kadar Zat Terbang (%)	≤ 80%
Kadar Karbon Terikat (%)	Min14%
Kerapatan (g/cm ³)	Min 0,8
Nilai Kalor (kal/g)	Min 4000

Sumber: SNI (2014) dalam Jurnal Penelitian Hasil Hutan, 2017.

2.3 Bahan Baku Biomassa

2.3.1 Ampas Kelapa

Menurut Badan Pusat Statistik Sumatera Selatan (2015), produksi kelapa pada tahun 2015 mencapai 61.985 ton.Untuk pengolahan buah kelapa dari 100 butir kelapa diperoleh ampas 19,50 kg (Meri Yulvianti, Widya Ernayati, Tarsono, 2015).

Tabel 2.2 Analisis Kimia Ampas Kelapa

Komponen		Nilai
<i>Proximate analysis</i> (wt% of dry basis)	Moisture	9,55
	Volatiles	67,83
	FC	22,30
	Ash	0,45
	C	39,44
<i>Ultimate analysis</i> (wt% of dry and ash free)	H	6,14
	N	0,5
	S	0,04
HHV (MJ/kg)		17,03

(Sumber : Noorhaza Alias dkk, 2014)

2.3.2 Tongkol Jagung

Tongkol jagung merupakan salah satu limbah pertanian yang cukup potensial untuk diolah menjadi bahan baku pembuatan biopelet karena ketersediaannya yang melimpah namun belum dimanfaatkan secara maksimal (Untoro Budi Surono, 2010). Menurut BPS Sumatra Selatan (2015), produksi jagung tahun 2015 sebesar 288,78 ribu ton pipilan kering. Bagian tanaman jagung kira-kira 50% merupakan limbah yang ditinggalkan setelah panen. Persentase masing-masing limbah yaitu 50% tangkai, 20% daun, 20% tongkoldan 10% klobot atau kulit jagung (Rohmiyatul Islamiyati1, 2013).

Tabel 2.3 Analisis Kimia Tongkol Jagung

Komponen	Nilai	
<i>Proximate analysis</i> (wt% of dry basis)	Moisture	6,5
	Volatiles	80,2
	FC	16,7
	Ash	3,1
<i>Ultimate analysis</i> (wt% of dry and ash free)	C	49,0
	H	6,0
	O	44,7
	N	0,3
	S	0,08
HHV (MJ/kg)	17,2	
<i>Density</i> (Kg/m ³)	188	

(Sumber : A.O. Aboyade et al. *Thermochemica Acta* 517 (2011))

2.3.3 Perbandingan Campuran Bahan Baku

Pembuatan biopelet campuran dari ampas kelapa dan tongkol jagung, dengan cara memisahkan ukuran menggunakan *sieving machine* sehingga mendapatkan ukuran dari masing-masing bahan baku 60 mesh. Menurut penelitian Eka, Yudi dan Hendra (2017) menyatakan bahwa campuran ampas kelapa dan tongkol jagung yang terbaik yaitu 75% : 25% yang menghasilkan nilai kalor sebesar 6417,251 kal/g.

2.4 Pengeringan

Proses pengeringan diperoleh dengan cara penguapan air. Cara ini dilakukan dengan menurunkan kelembaban udara dengan mengalirkan udara panas di sekeliling bahan, sehingga tekanan uap air bahan lebih besar daripada tekanan uap

air di udara. Perbedaan tekanan ini menyebabkan terjadinya aliran uap dari bahan ke udara (Hadi, 2015).

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengeringan ada dua golongan yaitu faktor yang berhubungan dengan udara pengering dan faktor yang berhubungan dengan sifat bahan yang dikeringkan. Faktor-faktor yang termasuk golongan pertama adalah suhu, kecepatan volumetrik, aliran udara pengering dan kelembaban udara. Faktor-faktor yang termasuk golongan kedua adalah ukuran bahan, kadar air awal dan tekanan parsial di dalam bahan (Syahrul, Romdhani, & Mirmanto, 2016).

Kelembaban udara berpengaruh terhadap proses pemindahan uap air. Apabila kelembaban udara tinggi, maka perbedaan tekanan uap air di dalam dan di luar bahan menjadi kecil sehingga menghambat pemindahan uap air dari dalam bahan ke luar. Pengontrolan suhu serta waktu pengeringan dilakukan dengan mengatur kotak alat pengering dengan alat pemanas, seperti udara panas yang dialirkan ataupun alat pemanas lainnya. Suhu pengeringan akan mempengaruhi kelembaban udara di dalam alat pengering dan laju pengeringan untuk bahan tersebut. Pada kelembaban udara yang tinggi, laju penguapan air bahan akan lebih lambat dibandingkan dengan pengeringan pada kelembaban yang rendah (A. L. Varian Pradipta, 2016).

2.5 Mekanisme Pengeringan

Proses pengeringan dilakukan dengan melalui dua periode yaitu periode konstan dan periode kecepatan penurunan. Periode kecepatan konstan seringkali disebut sebagai periode awal, dimana kecepatannya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan perpindahan massa dan panas (Rao dkk, 2005).

Udara yang terdapat dalam proses pengeringan mempunyai fungsi sebagai pemberi panas pada bahan, sehingga menyebabkan terjadinya penguapan air. Fungsi lain dari udara adalah untuk mengangkut uap air yang dikeluarkan oleh bahan yang dikeringkan. Kecepatan pengeringan akan naik apabila kecepatan udara ditingkatkan. Kadar air akhir apabila mulai mencapai kesetimbangannya, maka akan membuat waktu pengeringan juga ikut naik atau dengan kata lain lebih cepat (Muarif, 2013).

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi pengeringan suatu bahan adalah (Buckle dkk, 1987):

1. Sifat fisik dan kimia dari bahan, meliputi bentuk, komposisi, ukuran, dan kadar air yang terkandung didalamnya.
2. Pengaturan geometris bahan. Hal ini berhubungan dengan alat atau media yang digunakan sebagai perantara pemindah panas.
3. Sifat fisik dari lingkungan sekitar alat pengering, meliputi suhu, kecepatan sirkulasi udara, dan kelembaban.
4. Karakteristik dan efisiensi pemindahan panas alat pengering.

Proses pengeringan juga harus memperhatikan suhu udara dan kelembaban. Suhu udara yang tinggi dan kelembaban udara yang relatif rendah dapat mengakibatkan air pada bagian permukaan bahan yang akan dikeringkan menjadi lebih cepat menguap. Hal ini dapat berakibat pada terbentuknya suatu lapisan yang tidak dapat ditembus dan menghambat difusi air secara bebas. Kondisi ini lebih dikenal dengan *case hardening* (Desrosier, 1988).

2.6 Jenis-Jenis Alat Pengering

Adapun jenis-jenis alat pengering adalah sebagai berikut (Carmelitha Bernadetha, 2015):

1. *Tray Dryer*

Pengering baki (*tray dryer*) disebut juga pengering rak atau pengering kabinet, dapat digunakan untuk mengeringkan padatan bergumpal atau pasta, yang ditebarkan pada baki logam dengan ketebalan 10-100 mm. Pengeringan jenis baki atau wadah adalah dengan meletakkan material yang akan dikeringkan pada baki yang langsung berhubungan dengan media pengering. Cara perpindahan panas yang umum digunakan adalah konveksi dan perpindahan panas secara konduksi juga dimungkinkan dengan memanaskan baki tersebut.

Alat pengering tipe rak (*tray dryer*) mempunyai bentuk persegi dan di dalamnya berisi rak-rak yang digunakan sebagai tempat bahan yang akan dikeringkan.

Adapun keuntungan jenis *tray dryer* ialah:

- Laju pengeringan lebih cepat
- Kemungkinan terjadinya *over drying* lebih kecil
- Tekanan udara pengering yang rendah dapat melalui lapisan bahan yang dikeringkan

Adapun kekurangan jenis *tray dryer* ialah:

- Efisiensi rendah
- Kecenderungan tray terbawah panas dan tray teratas kurang panas



Gambar 2.1. *Tray Dryer*
Sumber: Alda Inesya, dkk, 2015.

2. *Spray Dryer*

Spray dryer menyemprotkan cairan melalui atomizer. Cairan tersebut akan dilewatkan ke dalam aliran gas panas dalam sebuah tabung (Patel, 2009).

Adapun keuntungan jenis *spray dryer* ialah:

- Dapat menghasilkan produk yang bermutu tinggi, berkualitas serta tingkat kerusakan gizi yang rendah. Selain itu perubahan warna, bau, dan rasa dapat diminimalisir
- Komposisi produk yang dihasilkan relatif seragam
- Dapat menghasilkan produk dalam jumlah yang sangat terbatas

Adapun kekurangan jenis *spray dryer* ialah :

- Harga dan biaya operasional sangat tinggi
- Tidak bisa pada bahan yang memiliki *bulk density* yang besar serta korosif
- *Recovery* produk dan pengumpulan debu dapat meningkatkan biaya produksi
- Biaya instalasi cukup mahal



Gambar 2.2. *Spray Dryer*

Sumber: Kristiawan, 2011

3. *Freeze Dryer*

Freeze drying adalah salah satu metode pengeringan yang mempunyai keunggulan dalam mempertahankan untuk hasil pengeringan, khususnya untuk produk-produk yang sensitif terhadap panas. Adapun prinsip kerja *freeze dryer* meliputi pembekuan larutan, menggranulasikan larutan beku tersebut, mengkondisikannya pada vakum ultra-high dengan pemanasan pada kondisi sedang, sehingga mengakibatkan air dalam bahan pangan tersebut akan menyublim dan akan menghasilkan produk padat.

Adapun keuntungan jenis *freeze dryer* ialah:

- Dapat mempertahankan stabilitas produk
- Dapat mempertahankan stabilitas struktur bahan
- Dapat meningkatkan daya rehidrasi

Adapun kerugian jenis *freeze dryer* ialah:

- Biaya instalasi yang mahal



Gambar 2.3. *Freeze Dryer*

Sumber: Fitri Lestari Haryani, dkk, 2012

4. *Rotary Dryer*

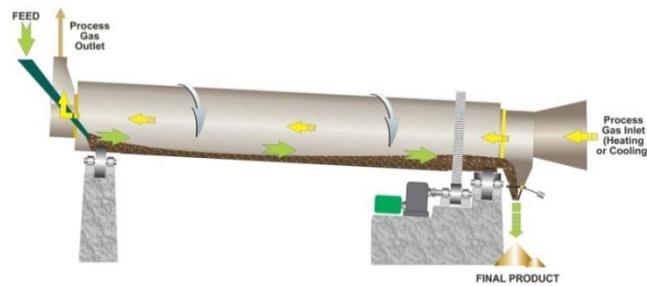
Rotary dryer merupakan alat pengering yang berbentuk sebuah drum dan berputar secara kontinyu yang dipanaskann dengan tungku atau gasifier. *Rotary dryer* sudah sangat dikenal luas di kalangan industri karena proses pengeringannya jarang menghadapi kegagalan baik dari segi output kualitas maupun kuantitas. Pengering *rotary dryer* biasa digunakan untuk mengeringkan bahan yang berbentuk bubuk, granula, gumpalan partikel padat dalam ukuran besar.

Secara umum, alat rotary dryer terdiri dari sebuah silinder yang berputar di atas sebuah bearing dengan kemiringan yang kecil menurut sumbu horisontal, rotor, gudang piring, perangkat transmisi, perangkat pendukung, cincin meterai, dan suku cadang lainnya.. Panjang silinder biasanya bervariasi dari 4 sampai lebih dari 10 kali diameternya (bervariasi dari 0,3 sampai 3 m). Feed padatan dimasukkan dari salah satu ujung silinder dan karena rotasi, pengaruh ketinggian dan slope kemiringan, produk keluar dari salah satu ujungnya. Pengering putar ini dipanaskan dengan kontak langsung gas dengan zat padat atau dengan gas panas yang mengalir melalui mantel luar, atau dengan uap yang kondensasi di dalam seperangkat tabung longitudinal yang dipasangkan pada permukaan dalam selongsong. Adapun keuntungan jenis *rotary dryer* ialah:

- Dapat megeringkan baik lapisan luar ataupun dalam dari suatu padatan
- Proses pencampuran yang baik, memastikan bahwa terjadinya proses pengeringan bahan yang seragam atau merata
- Operasi sinambung
- Instalasi yang mudah

Adapun kelemahan jenis *rotary dryer* ialah:

- Dapat menyebabkan reduksi ukuran karena erosi atau pemecahan
- Karakteristik produk kering yang inkonsisten
- Perawatan alat yang susah
- Tidak ada pemisahan debu yang jelas



Gambar 2.4. *Rotary Dryer*

Sumber: Gea, 2017

Rotary dryer dibedakan menjadi beberapa tipe. Berikut ini merupakan tipe spesifik dari *rotary dryer* (Perry, R.H, 7ed, P.1051)

1. *Direct Rotary Dryer*

Berupa tabung logam kosong, dengan atau tanpa sirip (*flight*). Cocok untuk operasi suhu rendah atau sedang. Suhu operasi dibatasi terutama oleh karakteristik kekuatan logam yang digunakan dalam fabrikasi.

2. *Direct Rotary Dryer*

Merupakan silinder logam yang dilapisi dengan batu tahan api. Sangat cocok untuk temperatur tinggi.

3. *Indirect Steam-Tube Dryer*

Merupakan tabung logam kosong yang dilengkapi dengan satu atau lebih baris tube yang dipasang secara longitudinal di shell. Cocok untuk operasi menggunakan steam atau dalam proses yang membutuhkan air pendingin dari tube.

4. *Indirect Rotary Calciner*

Merupakan tabung logam kosong yang bagian luar dikelilingi oleh tungku yang dipanaskan secara elektrik. Cocok untuk operasi pada suhu medium sampai maksimum yang dapat ditoleransi oleh dinding logam silinder, yaitu biasanya 650 K – 700 K untuk *carbon steel* dan 800 K – 1025 K untuk *stainless steel*.

5. *Direct Roto-Louvre Dryer*

Merupakan salah satu tipe khusus, berbeda dari unit *direct rotary* yaitu melalui sirkulasi gas dengan bahan padat. Sama seperti *direct rotary*, cocok untuk temperatur rendah.

Selain itu, *rotary dryer* juga dibedakan berdasarkan metode perpindahan panasnya antara lain (Gita Nur Sajida, 2012):

1. *Direct heat, counter current flow*

Rotary dryer dengan metode ini digunakan untuk material yang dapat dipanaskan sampai suhu tinggi seperti mineral, pasir, dan lain-lain.

2. *Direct heat, co-current flow*

Metode ini digunakan untuk material yang rentan terhadap suhu tinggi. Operasi pengeringan ini dapat mengontakkan gas secara langsung dengan material padatan tanpa khawatir terkontaminasi dan tidak perlu dipanaskan sampai suhu tinggi.

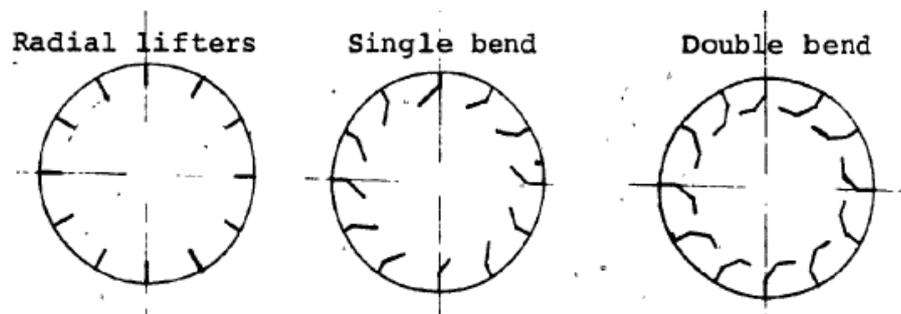
3. *Indirect heat, counter current flow*

Metode ini digunakan untuk material yang dapat dipanaskan sampai suhu tinggi namun tidak boleh berkontak langsung dengan gas pengering.

4. *Direct-indirect*

Pengering ini lebih ekonomis untuk dioperasikan bila dibandingkan dengan pengering *direct*. Dapat digunakan untuk padatan yang bisa dikeringkan pada suhu tinggi terutama ketika harga bahan bakar tinggi dan persen *moisture* yang harus dihilangkan cukup tinggi.

Pada *Rotary Dryer* terdapat *flights* yang memiliki dua fungsi yaitu pertama untuk membantu proses perpindahan panas antara bahan dan gas panas serta yang kedua untuk memperlambat dan mengontrol aliran bahan didalam silinder dari umpan masuk sampai umpan keluar sebagai produk. Terdapat 3 jenis *flights* pada *rotary dryer* berdasarkan karakteristik fisik dari bahan baku basah yaitu *straight*, *single bend*, and *double bend* (Jordan Konidis, 1984).



Gambar 2.5 Bentuk *flights*
(Sumber: Jordan Konidis, 1984)

Staright atau *radial lifters* digunakan jika waktu pengeringan yang dibutuhkan lama. Sedangkan jika bahan yang akan dikeringkan bersifat lengket dan tidak mengalir bebas maka lebih baik menggunakan *single bend* dan untuk bahan yang mengalir bebas menggunakan *double bend*. Namun dalam suatu kasus pengeringan *flights* dapat dikombinasikan antara *single bend* dan *double bend*. Dimana *double bend* digunakan pada ujung umpan yang produknya masih relatif basah dan lengket, sedangkan *double bend* dapat digunakan di ujung keluaran produk yang telah kering.

Adapun dalam beberapa rancangan pengering yang lain menggunakan *flights* yang disebut *sawtooth*. *Sawtooth* digunakan jika waktu pengeringan diabaikan dan bahan bersifat mengalir bebas.

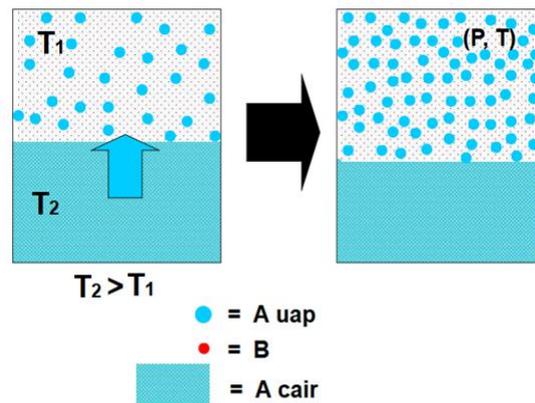
2.7 Oven

Bagian dalam oven biasanya tersusun atas beberapa rak yang digunakan sebagai tempat untuk meletakkan bahan yang akan dikeringkan (Aprilia, 2017). Pada proses pengeringan, alat pengering oven termasuk kedalam metode pengeringan buatan yang menggunakan pemanas atau *heater* dan udara buatan untuk mengalirkan udara dalam oven sehingga dapat mengurangi kandungan air dalam bahan (Westryan, 2013). Dari penjelasan tersebut, oven memiliki kesamaan dengan alat pengering tipe *tray (tray dryer)* yang berbentuk persegi dan di dalamnya berisi rak-rak yang digunakan sebagai tempat bahan yang akan dikeringkan (Carmelitha Bernadetha, 2015).

2.8 Humidifikasi

Humidifikasi adalah suatu ilmu yang mempelajari tentang kelembaban udara (campuran udara dan uap air) dan operasinya meliputi transfer massa suatu fase cairan murni dan suatu gas yang tidak dapat larut dalam cairan tersebut (Khozin Asror, 2015). Secara umum pengertian humidifikasi adalah proses perpindahan atau penguapan cairan (A) ke dalam campuran berupa gas (B) dan uap cairan (A), karena adanya kontak antara cairan (A) yang temperaturnya lebih tinggi dengan campurannya, sedangkan pengertian humidifikasi secara khusus adalah proses perpindahan air dari fase cair (A) ke dalam campuran gas yang terdiri dari udara

(B) dan uap air (A) (Satrio Pramudono, 2009). Gambar proses humidifikasi dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Proses Humidifikasi
(Sumber :Satrio Pramudono, 2009)

Tujuan dari humidifikasi adalah:

1. Pendinginan air dengan udara luar.
2. Pengendalian suhu atau kandungan uap air dalam gas.
3. Mengurangi kandungan uap dalam gas.
4. Pendinginan gas panas.
5. Pendinginan penguapan.

Untuk bisa memperoleh nilai *humidity* diperlukan data temperatur bola basah, temperatur bola kering atau relatif humidity yang diperoleh dalam proses pengurangan kadar air (pengeringan) (Satrio Pramudono, 2009).

2.9 Bahan Bakar LPG

2.9.1 Spesifikasi LPG

Spesifikasi LPG secara umum dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Spesifikasi LPG

No.	Parameter	Method	Unit	Specification		Result
				Min	Max	
1	<i>Spesific gravity</i> 60/60°F	ASTM D1657	-	Reported		0,5417
2	<i>Copper Corrosion</i> 1hr/100°F	ASTM D1838	-	-	ASTM No.1	1a
3	<i>Vapor Pressure at 100°F</i>	ASTM D1267	Psig	-	145	111,2
4	<i>Weathering Test at 36°F</i>	ASTM D1837	% vol	95	-	99
5	<i>Water Content</i>	Visual	-	No Free Water		No Free Water
6	<i>Component:</i>	ASTM				
	- C ₂	D2163	% vol	-	0,8	0,92
	- C ₃		% vol	-	-	47,50
	- Isobutene		% vol	-	-	18,45
	- N-butane		% vol	-	-	32,86
	- C ₃ and C ₄		% vol	97	-	98,87
	- C ₅₊ (C ₅ and heavier)		% vol	-	2	0,21

Sumber: Pertamina, 2018

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa komponen utama LPG terdiri dari hidrokarbon ringan berupa propane (C₃H₈) dan butane (C₄H₁₀), serta sejumlah kecil etana (C₂H₆) dan pentane (C₅H₁₂). Spesifikasi ini ditentukan oleh *American Society of Testing and Material* (ASTM).

2.10 Perhitungan

2.10.1 Densitas Udara Masuk dan Densitas Udara Keluar

Untuk menghitung densitas udara yang masuk dan densitas udara yang keluar dapat digunakan persamaan:

$$PV = nRT \quad (\text{Sumber : Hougen, 1961 hal.49})$$

$$P \frac{m}{BM} = nRT$$

Dimana:

P = Tekanan (atm)

V = Volume (m³ atau L)

m = Massa Udara (gr atau kg)

BM = Berat Molekul Udara (gr/grmol)

n = Jumlah Mol Gas (gr/grmol atau kg/kgmol)

R = Konstanta Gas (J/kmolK atau Latm/grmolK)

T = Suhu (K)

2.10.2 Laju Alir Volumetrik Udara

Untuk menghitung laju alir volumetrik udara dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q = v \times A \quad (\text{Sumber : Mc Cabe, 1993 hal.63})$$

Dimana:

Q = Laju Alir Volumetrik Udara (m³/s atau L/s)

v = Kecepatan Aliran Udara (m/s)

A = Luas Penampang Aliran Udara (m²)

2.10.3 Massa Udara Masuk dan Massa Udara Keluar

Untuk menghitung massa udara masuk dan massa udara keluar dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$m_{\text{udara}} = Q \times \rho \quad (\text{Sumber : Mc Cabe, 1993 hal.221})$$

Dimana:

Q = Laju Alir Volumetrik Udara (m³/s atau L/s)

ρ = Densitas Udara (gr/m³ atau gr/L)

m = Massa Udara (gr atau kg)

2.10.4 Massa H₂O yang Terkandung dalam Udara Masuk dan Keluar Rotary

Dryer

Untuk menghitung H₂O yang terkandung dalam udara masuk dan keluar rotary dryer digunakan basis 1 jam dengan rumus berikut:

$$m_1 = \omega_{\text{masuk rotary}} \times \text{massa udara}$$

$$m_2 = \omega_{\text{keluar rotary}} \times \text{massa udara}$$

Dimana:

m_1 = massa H₂O yang terkandung dalam udara masuk (kg H₂O)

m_2 = massa H₂O yang terkandung dalam udara keluar (kg H₂O)

ω = nilai *humidity* (kg H₂O/kg udara kering)

2.10.5 Massa H₂O yang Teruapkan oleh Udara

Untuk menentukan massa H₂O yang teruapkan oleh udara dapat digunakan persamaan:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = m_2 - m_1$$

2.10.6 Panas H₂O di Udara

$$dQ = n C_p dT$$

(Sumber: Hougen, 1943. P. 258)

Dimana :

n = mol H₂O yang teruapkan

C_p = kapasitas panas H₂O

dT = selisih antara temperatur udara masuk dan udara keluar

$$C_p = a + bT + cT^2$$

$$C_p \text{ H}_2\text{O} = a + \frac{b}{2}(T_2 + T_1) + \frac{b}{3}(T_2^2 + (T_1 \times T_2) + T_1^2)$$

Dimana :

$C_p \text{ H}_2\text{O}$ = kapasitas panas H₂O (gcal/gmol^oK)

a = 7,136

b = 2,640 x 10⁻³

c = 0,0459 x 10⁻⁶

T_1 = Temperatur udara masuk (°K)

T_2 = Temperatur udara keluar (°K)

2.10.7 Kadar Air Biopellet

Untuk menghitung kadar air biopellet digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\%kadar\ air\ biopellet = \frac{(W_t - W_s)}{W_t} \times 100\%$$

Dimana:

W_t = Massa bahan baku (gr)

W_s = Massa bahan baku kering (gr)

2.10.8 Nilai Kalor

Nilai kalor didapat dari hasil uji menggunakan *Bomb Calorimeter Parr 6400*.