

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

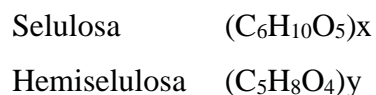
2.1 Biomassa

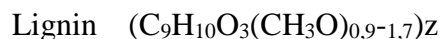
Biomassa merupakan sumber energi yang berasal dari matahari yang disimpan dalam bentuk energi kimia sebagai hasil dari reaksi fotosintesis [13]. Komponen utama penyusun biomassa adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin (lignoselulosa) [14]. Ketersediaannya yang melimpah, sifatnya yang mudah diperoleh dan dapat diperbaharui dengan cepat menjadikan biomassa sebagai salah satu sumber energi alternatif yang banyak diteliti dan dikembangkan sebagai pengganti bahan bakar fosil [15]. Penggunaan energi berbasis biomassa dianggap bebas dari gas rumah kaca dan emisi gas CO₂. Selain itu, sifatnya yang terbarukan akan memastikan adanya keberlanjutan sebagai sumber energi.

Biomassa dapat digunakan sebagai bahan bakar langsung, namun penggunaannya memiliki beberapa kekurangan diantaranya yaitu kadar air yang tinggi, densitas yang rendah, kerapatan energi yang rendah, nilai kalor dan kualitas biomassa yang tidak seragam, sulitnya mengontrol laju pembakaran, memerlukan ruang penyimpanan yang besar, serta tidak ekonomis karena memerlukan biaya yang besar untuk transportasi dan distribusi [16]. Peningkatan karakteristik biomassa sebagai bahan bakar dapat dilakukan dengan cara melakukan konversi menjadi bentuk yang lebih baik dengan mengaplikasikan teknologi yang tepat seperti konversi fisis, termokimia, dan biokimia [17]. Konversi yang dilakukan dapat memudahkan dalam penanganan, transportasi, penyimpanan, peningkatan daya bakar, peningkatan efisiensi bakar, bentuk yang lebih seragam, dan kerapatan energi yang lebih besar.

2.2 Komposisi Biomassa

Biomassa merupakan produk reaksi fotosintetik dari karbon dioksida dengan air, yang terdiri atas karbon, oksigen, dan hidrogen, yang terdapat dalam bentuk polimerik makroskopik kompleks. Bentuk-bentuknya adalah;





Komposisi senyawa-senyawa pokok di atas bervariasi untuk tiap spesies tanaman. Biasanya, biomassa mengandung 40-60% berat selulosa, 20-40% berat hemiselulosa, dan 10-25% berat lignin pada tiap basis kering. Untuk kasus degradasi termal, ketiga komponen ini yang paling mudah terdegradasi adalah hemiselulosa, kemudian selulosa, dan yang paling sulit adalah lignin [18].

2.2.1 Selulosa

Selulosa adalah polimer glukosa (hanya glukosa) yang tidak bercabang. Bentuk polimer ini memungkinkan selulosa saling menumpuk/terikat menjadi bentuk serat yang sangat kuat. Panjang molekul selulosa ditentukan jumlah unit glukosa di dalam polimer yang disebut derajat polimerisasi. Derajat polimerisasi selulosa bergantung pada jenis tanaman dan umumnya dalam kisaran 2000-27000 unit glukosa. Selulosa memiliki ikatan hidrogen yang kuat sehingga molekul-molekul pelarut mengalami kesulitan untuk melakukan penetrasi terhadap molekul selulosa sehingga selulosa sukar larut dalam pelarut biasa seperti air.

2.2.2 Hemiselulosa

Hemiselulosa mirip dengan selulosa yang merupakan polimer gula. Namun, berbeda dengan selulosa yang hanya tersusun dari glukosa, hemiselulosa tersusun dari bermacam-macam jenis gula. Monomer gula penyusun hemiselulosa terdiri dari monomer gula berkarbon 5 (C-5) dan 6 (C-6), misalnya *xylosa*, *manose*, *glukosa*, *galaktosa*, dan *arabinosa*. Hemiselulosa utama yang terkandung di dalam *softwood* adalah *galactoglucomannans* dan *arabiglucuronoxylan*, sementara pada *hardwood* adalah *glucuronoxylan*. Kandungan hemiselulosa di dalam biomassa lignoselulosa berkisar antara 11-37% dari berat kering biomassa. Tidak seperti selulosa, hemiselulosa memiliki derajat polimerisasi yang lebih rendah yaitu 50-300 dengan bentuk ikatan yang memiliki percabangan. Struktur *amorf* hemiselulosa yang lemah ini adalah karena percabangan, karenanya disebutkan bahwa hemiselulosa mudah untuk dihidrolisis atau dapat dilarutkan dalam larutan alkali.

2.2.3 Lignin

Lignin adalah molekul kompleks yang tersusun dari *phenylpropane* yang terikat di dalam struktur tiga dimensi. Lignin merupakan material yang paling kuat di dalam biomassa. Lignin memiliki titik leleh yang cukup rendah yaitu 140 °C. Dijelaskan bahwa biomassa pada tingkat kelembaban sekitar 8-15% akan mengurangi suhu pelunakan lignin menjadi 100-135 °C dengan membentuk rantai molekul. Dalam proses peletisasi, lignin bertindak sebagai perekat pada serat selulosa. Oleh karena itu biomassa yang memiliki kandungan lignin tinggi umumnya tidak memerlukan bahan pengikat tambahan. Sifat perekat dari lignin yang diperlunak secara termal dianggap dapat berkontribusi dalam meningkatkan kekuatan pelet maupun briket yang terbuat dari bahan baku yang berlignoselulosa [14].

2.3 Densifikasi`

Densifikasi merupakan proses pemadatan biomassa dengan cara pengempaan (penekanan) sehingga rapat massa dan rapat energi meningkat. Secara umum, setiap proses yang mengarah ke kepadatan fisik yang lebih rendah dan kepadatan energi yang lebih tinggi dapat dianggap sebagai proses densifikasi. Densifikasi meningkatkan massa jenis biomassa (40–200 kg/m³ hingga 600–800 kg/m³) dan nilai kalor, memudahkan dalam pengangkutan dan penyimpanan, serta meningkatkan keteraturan bentuk. Beberapa produk biomassa hasil densifikasi dapat berupa biopellet, biobriket, *pucks*, dan biomassa torefaksi [11]. Terdapat beberapa keuntungan dari penggunaan biomassa hasil densifikasi [19], yaitu:

1. Laju pembakaran dapat dibandingkan dengan batubara;
2. Pembakaran seragam dapat dicapai;
3. Emisi partikulat dapat dikurangi;
4. Kemungkinan pembakaran spontan dalam penyimpanan berkurang;
5. Transportasi, penyimpanan dan penanganan menjadi lebih efisien;
6. Biaya transportasi yang rendah karena biomassa hasil densifikasi memiliki densitas energi yang tinggi.

2.4 Biopellet

Biopellet adalah bahan bakar padat terbarukan hasil densifikasi biomassa yang berbentuk silinder, memiliki panjang 10-30 mm dengan diameter 6-12 mm dan dapat digunakan sebagai energi alternatif [6]. Biopellet memiliki densitas paling tinggi di antara produk biomassa yang melalui proses densifikasi lainnya [11]. Selain itu, densitas dan keseragaman ukuran pada biopellet lebih baik dibandingkan pada biobriket [20].

2.4.1 Proses pembuatan biopellet

Proses pembuatan biopellet terbagi menjadi beberapa tahapan, yaitu perlakuan pendahuluan (*pre-treatment*), pencetakan biopellet (*pelletisation*), dan pasca pelakuan (*post-treatment*) [21].

a. Perlakuan pendahuluan (*pre-treatment*)

- Pengeringan

Proses pembuatan biopellet dipengaruhi oleh kadar air bahan baku, ukuran partikel, kepadatan, kekuatan serat, karakteristik pelumas dan bahan pengikat alami yang digunakan. Pada umumnya kadar air awal biomassa berada pada rentang 50-90%. Jika bahan baku yang digunakan baru saja dipanen/ditebang, bahan yang terkena cuaca atau kelembaban tinggi, atau campuran bahan baku yang mungkin mengandung uap air, maka sebelum dapat digunakan bahan baku tersebut harus terlebih dahulu dikeringkan. Pengeringan diperlukan untuk mengurangi kadar air biomassa yang dalam banyak kasus melebihi nilai kadar air yang tepat dan dipersyaratkan untuk proses pembuatan biopellet, yaitu berkisar antara 6-18%. Namun, apabila bahan baku telah memiliki kadar air yang tepat, maka proses pengeringan tidak perlu lagi dilakukan [14].

- Pengecilan ukuran

Proses pengecilan ukuran merupakan salah satu bagian yang terpenting pada proses pembuatan biopellet. Proses pengecilan ukuran dilakukan untuk membentuk dan menyediakan bahan baku dengan ukuran dan luas permukaan yang sangat halus dan seragam sehingga dapat dibentuk layaknya adonan. Menurut Amirta [14], homogenitas atau keseragaman ukuran dari partikel bahan baku memberikan pengaruh besar pada

ketahanan dari produk biopelet yang dibuat. Proses pengecilan ukuran yang dilakukan akan menyebabkan terjadinya peningkatan luas permukaan partikel yang pada akhirnya akan memfasilitasi terjadinya ikatan antar partikel bahan baku yang lebih baik, dimana diharapkan akan terjadi koefisien gesekan internal yang rendah antara permukaan die dan serat dalam proses pencetakan biopelet. Hal ini bertujuan untuk menciptakan pelet yang lebih padat dan berkarakteristik tinggi.

b. Pencetakan biopelet (*pelletisation*)

Setelah melewati perlakuan pendahuluan, bahan baku akan melewati tahap pencetakan biopelet di dalam mesin pencetak biopelet (*pellet mill*). Pada proses ini bahan baku akan ditekan melalui lubang-lubang yang memiliki ukuran yang dibutuhkan (biasanya berdiameter 6 mm, kadang-kadang 8 mm atau lebih besar). Tekanan proses yang tinggi akan menyebabkan suhu bahan baku meningkat, dan akan diikuti pula dengan reaksi atau proses plastisasi (pelunakan) dari lignin. Proses pelunakan memungkinkan lignin membentuk lem atau perekat alami yang mampu mengikat material bahan baku (serbuk biomassa) yang digunakan menjadi biopelet yang utuh dan kokoh pada saat dingin di akhir pencetakannya.

Pada dasarnya proses peletisasi dilakukan untuk meningkatkan densitas biomassa dengan memberikan tekanan secara mekanis pada bahan baku. Metode ini dapat memberikan banyak keuntungan, seperti jumlah debu berkurang, kepadatan energi meningkat dan kualitas bahan bakar beserta nilai energi yang dimilikinya menjadi seragam. Dengan kata lain proses ini memungkinkan untuk dihasilkannya bahan bakar yang seragam dengan kerapatan curah (*bulk density*) yang lebih tinggi dibandingkan dengan matrik awal bahan bakunya. Adapun mekanisme pengikatan (*binding mechanism*) yang secara spesifik terjadi pada proses ini yaitu, tekanan tinggi diterapkan dan partikel dipadatkan lebih jauh akan memaksa partikel untuk mengalami deformasi elastis dan plastik yang bermuara pada meningkatnya area kontak antara partikel [14]. Plastisitas partikel ini juga dapat dipengaruhi oleh suhu dan kadar air. Kadar air yang tinggi menyebabkan peningkatan ruang *interparticle* dan yang akan menyebabkan lebih banyak energi kompresi yang dibutuhkan/digunakan. Sebaliknya, kadar air yang rendah akan

meningkatkan gesekan selama proses yang akan mempengaruhi plastisitas yang terjadi. Selain itu, mekanisme pengikatan juga ditingkatkan oleh lignin. Penambahan panas pada biomassa memaksa lignin menjadi lebih lembut pada awalnya dan selanjutnya akan menunjukkan sifat termosettingnya.

c. Pasca perlakuan (*post-treatment*)

Tahap terakhir dalam proses pembentukan biopellet adalah proses pendinginan. Pada umumnya biopellet yang keluar dari keping pencetak memiliki suhu 70 °C dan kadar air 12-18% serta masih dalam keadaan rapuh. Untuk menghindari kerusakan pada biopellet dan pembentukan debu, biopellet harus langsung melewati proses pendinginan. Biopellet akan didinginkan dengan udara hingga mencapai suhu 20-25 °C dan kadar air 8-12%. Pendinginan biopellet membuat matrik produk mengeras yang terutama dikarenakan oleh reaksi stabilisasi dari lignin terutama pada permukaan biopellet [14]. Selain itu, proses pendinginan juga berfungsi untuk mencegah terjadinya kontaminasi jamur pada biopellet [11].

2.3.2 Variabel pembuatan biopellet

Terdapat beberapa faktor yang berpengaruh dalam proses pembuatan biopellet. Pada umumnya, faktor-faktor tersebut terbagi menjadi dua variabel, yaitu variabel bahan baku dan variabel proses. Variabel bahan baku meliputi ketersediaan bahan baku, kadar air, kadar abu, ukuran partikel, bentuk partikel, distribusi partikel, komposisi kimia utama (selulosa, hemiselulosa, dan lignin), serta formulasi umpan. Sementara itu, variabel proses meliputi temperatur, tekanan, material dan spesifikasi *pellet die*, proses pengondisian, serta waktu tinggal [11].

a. Variabel bahan baku

Beberapa kondisi yang termasuk ke dalam variabel umpan antara lain sifat fisika (meliputi kadar abu, kadar air, ukuran partikel, bentuk, dan distribusi) serta sifat kimia bahan baku.

- Kadar air

Kadar air dapat berperan sebagai perekat alami melalui gelatinisasi selama proses densifikasi dan meningkatkan durabilitas dan kualitas pada biopellet. Meningkatnya kadar air pada bahan baku hingga mencapai kadar air optimal

berperan signifikan dalam meningkatkan kekuatan dan membentuk biopelet yang lebih rapat dan stabil. Pada umumnya, bahan baku yang diinginkan dalam proses pembuatan biopelet memiliki kadar air yang rendah dengan ukuran partikel yang halus, yang akan menciptakan biopelet dengan struktur yang stabil. Penentuan kadar air bahan sangat diperlukan dalam memproduksi biopelet sehingga mencapai kadar air yang sesuai dengan kesetimbangan (*equilibrium*). Hal ini penting untuk mencegah biopelet mengembang karena lembap selama penyimpanan dan pengiriman, selain itu jika kadar airnya tinggi, biopelet yang dihasilkan mudah diserang mikroorganisme dan jamur [22].

Menurut standar pelet kayu, kadar air yang dibutuhkan dalam proses penetakan biopelet haruslah tidak lebih dari 10%. Secara teknis, selama proses, kandungan air adalah pengikat dan pelumas. Jika kadar air terlalu rendah, biopelet tidak dapat sepenuhnya dibentuk dan diperpanjang, sehingga biopelet mungkin akan mengalami deformasi, dan kerapatannya juga akan lebih rendah dari biopelet normal. Namun, apabila kadar air terlalu tinggi, konsumsi energi akan meningkat, dan volume juga akan meningkat. Penambahan kadar air selama proses produksi biopelet biasanya dilakukan untuk mempermudah proses mencairnya lignin yang terkandung di dalam bahan baku. Kadar air optimum yang dibutuhkan untuk produksi biopelet sangat bergantung pada jenis bahan baku yang digunakan. Analisa *techno-economic* menunjukkan bahwa kadar air optimum untuk memproduksi biopelet adalah sebesar 7%, dengan mempertimbangkan konsumsi energi dan kualitas biopelet yang dihasilkan. Peningkatan kadar air di atas nilai optimum akan berdampak negatif pada sifat fisik pada biopelet yang dihasilkan [23].

- Kadar abu

Biopelet yang memiliki kadar abu yang tinggi akan menurunkan efisiensi pada kompor pembakaran, sehingga memerlukan proses pembersihan yang lebih sering. Pada umumnya, kadar abu pada biopelet dipengaruhi oleh komposisi kimia pada bahan baku biomassa.

- Ukuran partikel

Biomassa harus memiliki ukuran partikel yang optimal, yang berarti ukuran partikel yang terlalu halus akan menyumbat *mill* dan membuatnya susah untuk dibersihkan serta menurunkan efisiensi *pellet mill*. Partikel yang halus akan menghasilkan densitas biopellet yang semakin tinggi dan bahan baku akan dengan mudah melewati lubang pada pencetak biopellet. Sementara partikel dengan ukuran yang lebih besar cenderung menghasilkan biopellet dengan durabilitas yang lebih rendah yang rentan pecah.

- b. Variabel proses

- Temperatur

Temperatur dapat mempengaruhi durabilitas dan densitas curah pada biopellet. Pada tekanan dan kadar air bahan baku yang sama, densitas biopellet akan semakin rendah dengan meningkatnya temperatur proses.

- Tekanan

Tekanan merupakan faktor penting dalam proses pembuatan biopellet. Tekanan pada proses pembuatan biopellet dapat mempengaruhi densitas dan kadar air serta kekuatan mekanis biopellet dengan meningkatkan deformasi plastis dan bersama dengan temperatur akan mengembangkan solid bridge oleh difusi molekul.

- Waktu tinggal

Waktu tinggal dapat mempengaruhi kualitas pada biopellet dan tergantung pada jenis biomassa serta tekanan proses. Pada tekanan yang rendah, waktu tinggal akan berpengaruh pada kualitas biopellet. Namun pada tekanan proses yang sangat tinggi, peran waktu tinggal dapat diabaikan.

2.5 Mesin Pencetak Pelet (*Pellet Mill*)

Pellet mill merupakan mesin pengempa yang digunakan untuk membentuk pelet dari serbuk dan menggabungkan bahan baku yang berukuran lebih kecil menjadi massa yang lebih besar dan homogen. *Pellet mill* terdiri dari keping pencetak (*die*) dan dua atau lebih penggiling (*rollers*) yang berfungsi untuk mendorong bahan baku pelet ke dalam lubang di dalam keping pencetak [11]. Selama proses, bahan baku dipadatkan di antara keping pencetak dan penggiling

untuk selanjutnya dikeluarkan melalui lubang pencetak [24]. Terdapat dua desain *pellet mill* yang tersedia, yaitu (a) *flat die pellet mills*, yang memiliki keping pencetak (*die*) yang dapat berputar dengan penggiling yang stasioner, dan (b) *ring die*, yang memiliki penggiling yang dapat berputar. Pada umumnya, *flat die pellet mills* lebih banyak digunakan untuk kebutuhan penelitian karena desainnya yang sederhana, lebih ringan, serta membutuhkan konsumsi energi yang lebih rendah dibandingkan dengan *rotary die pellet mills* [11],[24]. Variabel proses meliputi kecepatan putaran pada keping pencetak (*die*), geometri keping pencetak (rasio L/D), serta temperatur pemanasan awal berpengaruh pada sifat fisik dari pelet seperti densitas, durabilitas, dan *specific energy consumption* [24].

2.6 Motor Diesel

Motor diesel merupakan alat yang dapat menghasilkan tenaga serta dapat mengkonversi sumber energi panas menjadi suatu daya tenaga mekanik melalui sistem pembakaran bahan bakar. Jika dilihat berdasarkan jenis pembakaran, motor bakar dibedakan menjadi beberapa macam yaitu sistem motor pembakaran dalam (*internal combustion*) dan sistem motor pembakaran luar (*external combustion*). Motor pembakaran luar merupakan suatu alat dimana energinya dapat digunakan guna menghasilkan suatu kerja atau daya mekanik didapatkan menggunakan metode pembakaran bahan bakar dilakukan pada ruang bakar di luar motor tersebut, seperti contohnya pada mesin uap, mesin turbin uap. Sedangkan disisi lain motor pembakaran dalam didefinisikan merupakan suatu motor yang dayanya ditujukan guna menghasilkan kerja mekanik diperoleh dari hasil pembakaran bahan bakar yang dilakukan di dalam motor itu sendiri, seperti motor diesel dan motor bensin [25].

Motor diesel adalah sejenis mesin pembakaran dalam yang lebih spesifik lagi merupakan sebuah mesin pemicu kompresi, dimana bahan bakar dinyalakan oleh suhu tinggi gas yang dikompresi, dan bukan oleh alat berenergi lain (seperti busi). Motor diesel pada kendaraan otomotif sering digunakan pada mobil-mobil yang mempunyai kapasitas mesin yang besar, dan juga tenaga yang besar. Hal ini dikarenakan motor diesel cocok untuk penggunaan jarak jauh (motor diesel lebih tahan panas dibanding mesin bensin) dan tenaga yang besar (karena konstruksi

motor diesel rata-rata berkapasitas besar). Penggunaan motor diesel semakin banyak karena konsumsi bahan bakar motor diesel lebih irit jika dibandingkan dengan motor berbahan bakar bensin.

2.7 *Disc Mill*

Disc mill merupakan mesin pengecil ukuran yang mempunyai kemampuan menghasilkan bahan yang halus. *Disc mill* memiliki dua buah piringan yang akan berputar secara berlawanan sehingga dapat menghancurkan bahan yang akan digiling. Pada bagian piringan ini terdapat tonjolan-tonjolan yang berfungsi untuk menjepit bahan. Mesin ini merupakan mesin yang memiliki tipe gaya dengan penekanan. Selama proses berlangsung, bahan akan mengalami gesekan diantara kedua piringan sehingga ukurannya menjadi lebih kecil dan halus sampai dapat keluar dari saringan yang berada di dalam *disc mill*.

Bagian-bagian dari *disc mill* yaitu corong pemasukan, dinding penutup dan cakram, corong pengeluaran, ruang sirkulasi udara, serta poros penggerak. Dinding penutup dan cakram berfungsi sebagai penghancur bahan karena adanya gerak putar dari cakram terhadap dinding penutup yang diam. Bahan yang hancur merupakan akibat dari efek atrisi dan kompresi dari cakram. Pada *disc mill* juga dilengkapi dengan poros penggerak yang berfungsi untuk menggerakkan atau memutar cakram pada *disc mill* yang terhubung dengan motor diesel.

2.8 *Screw Conveyor*

Konveyor merupakan alat pemindah bahan yang paling sering digunakan dalam kegiatan pemindahan bahan. *Screw conveyor* (konveyor sekrup) merupakan jenis konveyor yang paling sering digunakan dalam kegiatan pemindahan bahan karena memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan jenis alat transportasi yang lain [24]. *Screw conveyor* dianggap lebih efektif dalam memindahkan material, lebih ramah terhadap lingkungan, memiliki struktur yang sederhana dan sangat efisien [26]. *Screw conveyor* memiliki beberapa komponen, diantaranya adalah kerangka, bak penampung (*hopper*), ruang penyalur (tabung ulir), dan saluran pengeluaran, serta sistem transmisi. Kerangka berfungsi sebagai tempat dudukan tabung ulir serta motor listrik yang akan digunakan. Bak penampung (*hopper*)

berfungsi sebagai penampungan awal bahan baku sebelum masuk ke dalam tabung ulir. Ruang penyalur (tabung ulir) yang berfungsi untuk mentransportasikan dan mencampur bahan baku yang akan digunakan dan dikeluarkan pada saluran pengeluaran. Sistem transmisi berfungsi untuk mengendalikan perputaran pada tabung ulir. Untuk dapat memutar tabung ulir pada alat, maka dipasang poros *gear* pada alat yang digerakkan oleh motor listrik dan direduksi oleh *gearbox*. Penelitian yang dilakukan oleh [27] menggunakan kecepatan putaran pada *screw* sebesar 40 rpm dan 50 rpm.

Screw conveyor digunakan untuk memindahkan material kecil seperti butiran, aspal, batubara, abu, kerikil dan pasir. *Screw conveyor* memiliki kelebihan di antaranya adalah dapat digunakan sebagai pencampur bahan disamping fungsi utamanya sebagai pemindah bahan. Bahan yang dapat dipindahkan dengan *screw conveyor* terbatas pada bahan curah yang ukurannya tidak terlalu besar (butiran kecil) sampai bahan yang berbentuk serbuk maupun cair. *Screw conveyor* tidak dapat digunakan untuk pemindahan bahan bongkah besar (*large-lumped*), mudah hancur (*easily-crushed*), abrasif, dan material mudah menempel (*sticking materials*). Beban yang berlebihan pada konveyor akan mengakibatkan kemacetan, merusak poros, dan *screw* berhenti. Terdapat jarak minimal antara daun *screw* dan *chasing screw conveyor* berdasarkan fungsi masing-masing dari *screw conveyor*. Terkadang keduanya tidak memiliki jarak, dalam kondisi ini daun *screw* juga berfungsi sebagai *bushing* yang bertujuan agar tidak ada material yang tertinggal di *chasing*. Hal ini biasanya digunakan untuk mengangkut material selain *foodgrade*. Jarak daun *screw* dan *chasing* yang terlalu besar berakibat banyaknya material yang tertinggal pada *chasing*, dalam jangka panjang dapat berpengaruh terhadap kelembapan di dalam ruang *chasing* selanjutnya secara perlahan material yang tertinggal membusuk dan mengkontaminasi material yang dapat menurunkan kualitas produk [26].

2.8 Karakteristik Biopelet

2.8.1 Sifat Fisik Biopelet

Sifat fisik merupakan salah satu penentuan kualitas pelet yang dibuat. Analisa sifat fisik meliputi pengukuran densitas dan durabilitas dari biopelet [11].

a. Densitas

Salah satu parameter yang paling penting pada biopelet adalah densitas. Parameter utama yang mempengaruhi densitas adalah kadar air, ukuran partikel, tekanan dan temperatur operasi. Bahan baku yang memiliki kadar air yang tinggi dan ukuran partikel yang besar akan menurunkan nilai densitas pada biopelet yang dihasilkan. Sementara itu, temperatur dan tekanan yang tinggi akan meningkatkan nilai densitas dari biopelet yang dihasilkan. Nilai densitas sangat mempengaruhi karakteristik biopelet seperti nilai kadar air dan nilai kalor. Nilai densitas yang tinggi mempengaruhi penurunan nilai kadar air yang disebabkan oleh tekanan sehingga menyebabkan air keluar dari biopelet yang berdampak pori-pori biopelet semakin kecil sehingga biopelet akan sulit menyerap kadar air [20]. Lebih jauh lagi, densitas biopelet juga berpengaruh pada kinerja pembakaran, dimana semakin tinggi densitasnya, semakin lama pula waktu pembakarannya [14].

b. Ketahanan mekanis (*Mechanical durability*)

Ketahanan mekanis merupakan kemampuan biopelet untuk tetap berada pada bentuk dan ukuran yang sama dan mampu menahan gesekan serta getaran selama penanganan dan pengangkutan. Biopelet dengan daya tahan mekanis yang lebih rendah mudah akan rusak, dan meningkatkan kandungan bubuk (*fine dust*) yang dimilikinya [14]. Selain itu, durabilitas biopelet yang rendah menyebabkan masalah seperti gangguan pada sistem umpan, emisi serbuk, dan meningkatnya resiko ledakan selama penanganan serta penyimpanan pada biopelet [23].

2.8.2 Sifat Kimia Biopelet

Analisis sifat kimia pada biopelet terdiri dari kadar air, kadar abu, kadar karbon, dan nilai kalor.

a. Kadar air

Analisa kadar air bertujuan untuk mengetahui kandungan air yang berada pada pelet. Kadar air dapat dibedakan antara lain:

- Kadar air bebas (*free moisture*)
Kandungan air bebas adalah air yang diserap pada permukaan pelet, kandungan air ini dapat dihilangkan dengan cara dikeringkan. Kandungan air ini berasal dari uap di lingkungan sekitar, air hujan, dan sebagainya.
- Kadar air terikat (*inherent moisture*)
Kadar air terikat merupakan kandungan air yang terikat secara kimiawi dan fisika pada pelet.
- Kandungan air total (*total moisture*)
Kadar air total merupakan banyaknya kandungan air dalam pelet. Kadar ini mempengaruhi kondisi pengeringan dan hasil pengeringan akan berpengaruh terhadap penyalaan awal dan nilai kalor.

Pengaruh kandungan air yang berlebih akan mempengaruhi nilai kalor dan suplai panas karena penguapan dan pemanasan berlebih dari uap, serta membantu radiasi transfer panas [28]. Kadar air pada biopelet harus dibuat serendah mungkin karena memberikan pengaruh terhadap nilai kalor bakarnya. Kadar air yang tinggi pada bahan bakar pelet akan menyebabkan proses pembakaran yang lambat, menimbulkan asap yang banyak dan temperatur api yang rendah pada waktu pembakaran [29].

b. Kandungan Abu

Kandungan abu merupakan residu dari bahan mineral yang dihasilkan selama pembakaran pelet yang terjadi secara sempurna. Kandungan abu dapat berasal dari:

- Pengotoran luar
Pengotoran ini terjadi pada permukaan pelet saat proses cetak pelet dilakukan.
- Pengotoran dalam
Pengotoran ini terjadi karena adanya kandungan mineral lain di dalam pelet pada saat pembentukan pelet.

Kandungan abu akan terbawa bersama gas pembakaran dalam bentuk *fly ash* yang jumlahnya mencapai 30% dan abu dasar sebesar 10%. Kadar abu dipengaruhi oleh jenis bahan baku, karena jumlah mineral setiap jenis baku berbeda-beda [15]. Semakin tinggi kadar abu akan mempengaruhi tingkat pengotoran, keausan dan

korosi peralatan [30]. Selain itu, tingginya kadar abu menyebabkan panas yang dihasilkan akan menurun karena adanya penumpukan pada waktu pembakaran [29].

c. Volatile Matter (VM)

Zat terbang adalah bagian dari pelet dimana bila pelet dipanaskan tanpa kontak dengan udara pada suhu sekitar 900°C akan berubah menjadi gas. *Volatile matter* terdiri dari gas-gas yang *combustible* seperti metana, hidrokarbon ringan, hydrogen, dan karbon monoksida (CO) serta sebagian kecil *non combustible* seperti uap air dan karbondioksida. Kandungan zat terbang yang tinggi akan mempercepat pembakaran tetapi sebaliknya zat terbang rendah akan mempersukar proses pembakaran [31].

d. Fixed Carbon

Karbon tertambat merupakan karbon dalam keadaan bebas, tidak bergabung dengan elemen lain yang tertinggal setelah materi yang mudah menguap dilepaskan selama analisis suatu sampel padat kering. Kandungan utamanya tidak hanya karbon dan jumlah zat terbang digunakan sebagai perhitungan untuk menilai kualitas bahan bakar, yaitu nilai rasio bahan bakar [31].

e. Nilai kalor

Nilai kalor merupakan ukuran panas yang dihasilkan dan diukur sebagai nilai kalor LHV (*gross calorific value*) atau nilai kalor HHV (*netto calorific value*). Perbedaan dari LHV dan HHV ditentukan oleh panas laten kondensasi dari uap air yang dihasilkan selama proses pembakaran. HHV menunjukkan bahwa seluruh uap yang dihasilkan selama proses pembakaran sepenuhnya terkondensasi. Sedangkan LHV menunjukkan air yang keluar dengan produk pengembunan tidak seluruhnya terkondensasi [28].

Standar karakteristik biopelet berdasarkan SNI 8021-2014 dan perbandingan nilai kalor biopelet dengan bahan bakar lainnya dapat dilihat berturut-turut pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Standar Karakteristik Biopelet Berdasarkan SNI 8021-2014

Parameter	Nilai
Kadar Air (%)	$\leq 12\%$
Kadar Abu (%)	$\leq 1,5\%$
Kadar Zat Terbang (%)	$\leq 80\%$
Kadar Karbon Terikat (%)	$\geq 14\%$
Kerapatan (g/cm^3)	$\geq 0,8$
Nilai Kalor (kal/g)	≥ 4000

Sumber: [32]

Tabel 2.2 Perbandingan Nilai Kalor Biopelet terhadap Bahan Bakar lainnya

Bahan Bakar	Nilai Kalor (kkal/kg)
Biopelet	4.280,6
Kayu Bakar	1.505,7
Batubara	6.453,1
Minyak Tanah	10.516,3
LPG	11.711,3

Sumber: [11]

2.9 Limbah Serbuk Gergaji

Kayu merupakan sumber energi biomassa yang paling banyak ditemukan [33]. Pada umumnya pengolahan kayu akan menghasilkan produk sampingan berupa serbuk gergajian, serutan, dan serpihan kayu. Selama ini limbah tersebut banyak menimbulkan masalah dalam penanganannya, dibiarkan membusuk, ditumpuk, dan dibakar. Pemanfaatannya baru sebatas campuran dalam pembuatan papan partikel dan media tanam jamur, namun belum dimanfaatkan secara optimal oleh masyarakat sebagai sumber energi alternatif dan terbarukan. Serbuk gergaji memiliki kandungan utama berupa lignin, hemiselulosa, dan selulosa yang menjadikannya potensial untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan biopelet [5]. Kandungan pada serbuk gergaji dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.

Tabel 2.3 Komposisi Lignoselulosa Serbuk Gergaji

Parameter	Satuan	Komposisi
Lignin	%	25,59 ±1,9561
Selulosa	%	39,97 ±1,6234
Hemiselulosa	%	17,54 ±3,1690
Kadar air	%	10,18 ±0,3622
Zat larut air	%	16,9 ±0,2948

Sumber: [34]

Tabel 2.4 Karakteristik Serbuk Gergaji

Analisis Proksimat		Analisis Ultimat		Nilai Kalor (kkal/kg)
Parameter	Nilai (%)	Parameter	Nilai (%)	
Zat terbang	75,32	Karbon	50,02	3.475
Kandungan abu	0,61	Hidrogen	5,54	
Kelembaban	11,26	Oksigen	44,40	
Karbon tetap	12,81	Nitrogen	0,04	

Sumber: [35],[36]

2.10 Cangkang Kelapa Sawit

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan komoditas perkebunan yang memegang peranan penting bagi perekonomian Indonesia sebagai salah satu penyumbang devisa non-migas yang cukup besar. Kelapa sawit menghasilkan produk olahan yang memiliki banyak manfaat. Produk minyak kelapa sawit tersebut digunakan untuk industri penghasil minyak goreng, minyak industri, bahan bakar, industri kosmetik dan farmasi. Indonesia merupakan penghasil minyak kelapa sawit mentah atau *crude palm oil* (CPO) terbesar di dunia [37]. Terdapat peningkatan luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia setiap tahunnya. Pada tahun 2018, total luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai 14,33 ha, dimana terjadi peningkatan yang cukup besar dari tahun sebelumnya yang seluas 12,38 ha [38]. Pertambahan dan peningkatan areal perkebunan kelapa sawit diiringi pertambahan jumlah industri pengolahannya menyebabkan jumlah limbah yang dihasilkan semakin banyak pula. Hal tersebut disebabkan oleh bobot limbah pabrik kelapa

sawit yang harus dibuang semakin bertambah. Limbah yang dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit akan menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan, baik kuantitas sumber daya alam, kualitas sumber daya alam, maupun lingkungan hidup [39].

Cangkang kelapa sawit merupakan limbah yang berasal dari kelapa sawit yang akan diolah menjadi *crude palm oil* (CPO) [7]. Cangkang sawit adalah bagian keras yang terdapat setelah buah pada kelapa sawit yang berfungsi untuk melindungi buah kelapa sawit, hampir sama dengan tempurung kelapa [40]. Setiap tandan buah segar kelapa sawit yang akan diolah pada umumnya akan menghasilkan sekitar 21% minyak sawit, 6-7% inti sawit, 14-15% serat, 6-7% cangkang, dan 23% tandan buah kosong [41]. Cangkang kelapa sawit merupakan biomassa jenis lignoselulosa, dimana komponen utamanya terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin [42]. Bahan lignoselulosa memiliki potensi yang besar untuk digunakan sebagai bahan baku biomassa untuk menghasilkan panas dan tenaga serta untuk menghasilkan bahan bakar [43]. Komposisi kandungan yang terdapat pada cangkang buah kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 2.5 dan 2.6.

Tabel 2.5 Komposisi Lignoselulosa Cangkang Kelapa Sawit

Parameter	Satuan	Komposisi
Lignin	%	44,0-50,7
Selulosa	%	20,8-27,7
Hemiselulosa	%	21,6-22,7
Komponen Ekstraktif	%	10,3

Sumber : [44]

Tabel 2.6 Karakteristik Cangkang Buah Kelapa Sawit

Analisis Proksimat		Analisis Ultimat		Nilai Kalor (kkal/kg)
Parameter	Nilai (%)	Parameter	Nilai (%)	
Zat terbang	69,57	Karbon	47,39	4.586
Kandungan abu	2,99	Hidrogen	5,09	
Kelembaban	8,25	Oksigen	43,79	
Karbon tetap	19,19	Sulfur	0,11	
		Nitrogen	0,64	

Sumber : [10]

2.11 Perekat

Untuk merekatkan partikel-partikel zat dalam bahan baku pada proses pembuatan biopelet, maka dapat digunakan zat pengikat sehingga dihasilkan biopelet yang kompak. Tepung tapioka sering digunakan sebagai bahan perekat karena banyak terdapat di pasaran dan harganya relatif murah. Perekat ini dalam penggunaannya menimbulkan asap yang relatif lebih sedikit dibandingkan dengan bahan lainnya. Penggunaan tapioka akan menghasilkan biopelet yang tidak berasap dan tahan lama. Tapioka adalah salah satu pengikat organik yang memiliki kadar karbohidrat cukup tinggi. Tapioka merupakan salah satu sumber karbohidrat yang ketersediaannya cukup melimpah. Sebagai sumber karbohidrat, tapioka memiliki pati yang terdiri dari amilosa dan amilopektin yang menjadikannya mampu mengikat partikel-partikel dalam biopelet. Pati tersusun dari dua macam karbohidrat, amilosa, dan amilopektin, dalam komposisi yang berbeda-beda. Amilosa memberikan sifat keras sedangkan amilopektin menyebabkan sifat lengket. Tapioka apabila dibuat sebagai bahan perekat mempunyai daya rekat yang tinggi dibandingkan dengan tepung-tepung jenis lain.