



BAHAN AJAR

**BAHAN BAKAR ENERGI BARU
TERBARUKAN (EBT) BRIKET DAN
PELLET KAYU**

**Dr. Ir. RACHMAT SUBAGYO, ST., MT., IPM.,
ACPE.**

ANDY NUGRAHA, ST., MT.

TRENDY PRATAMA

M. ZAINUL RUSDI

BAHAN AJAR

BRIKET DAN PELLET KAYU



DISUSUN:

Dr. Ir. Rachmat Subagyo, ST., MT., IPM., ACPE.

Andy Nugraha, ST., MT.

Trendy Pratama

M. Zainul Rusdi

**PRODI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
2022**

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan kekuatan, ketekunan dan kesabaran sehingga penulis dapat menyelesaikan bahan ajar “Briket dan Pellet Kayu” dengan baik.

Sumber literatur dari penulisan ini adalah buku Pellet Kayu Energi Hijau Masa Depan yang ditulis oleh Rudianto Amirta tahun 2018, dan ditambah dengan literatur lain berupa buku teks, artikel ilmiah, publikasi penelitian, serta sumber pustaka dari website untuk memperkaya konten dari bahan ajar ini.

Bahan ajar ini dapat dipergunakan sebagai sumber pustaka bagi mahasiswa Fakultas Teknik yang sedang mempelajari Briket dan Pellet, karena sepanjang pengalaman penulis mengajar mata kuliah Energi Terbarukan terdapat banyak mahasiswa yang mengeluhkan kurangnya sumber referensi terkait dengan bahan baku, pengolahan, dan penggunaan briket dan pellet kayu.

Bahan ajar ini terdiri dari empat bagian, bab pertama berisi pendahuluan terkait dengan bahan bakar padat, bab kedua mengenai briket (briket gambut, briket batubara, dan briket kayu), bab ketiga mengenai pellet kayu, dan bab keempat mengenai karakteristik pembakaran (briket dan pellet kayu).

Pada kesempatan ini Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu penulisan bahan ajar ini terutama kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Lambung Mangkurat yang telah memiliki andil besar dalam memberi support kepada Penulis. Penulis juga merasa bahwa bahan ajar ini masih jauh dari sempurna, maka oleh karena itu segala masukan baik berupa saran maupun kritik yang sifatnya membangun sangat diharapkan dalam rangka meningkatkan kualitas bahan ajar ini di masa mendatang. Besar harapan penulis semoga bahan ajar ini dapat memberi manfaat bagi siapa saja yang ingin belajar dan mendalami terkait dengan briket dan pellet kayu.

Banjarbaru, September 2022

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iii
BAB I : PENDAHULUAN	1
1.1 Bahan Bakar	1
1.2 Bahan Bakar Padat	2
BAB II : BRIKET	6
2.1 Briket.....	6
2.1.1 Bentuk Briket.....	6
2.1.2 Kualitas Briket.....	7
2.1.3 Perekat Briket	11
2.1.4 Tekanan Pembriketan	12
2.1.5 Standar Kualitas Briket Batubara	12
2.2 Gambut	13
2.2.1 Klasifikasi Gambut	15
2.2.2 Karakteristik Kimia Gambut	19
2.2.3 Proses Pembentukan Gambut Menjadi Batubara	20
2.2.4 Gambut di Kalimantan Selatan.....	21
2.2.5 Potensi Energi Gambut di Kalimantan Selatan	22
2.2.6 Briket Gambut	24
2.3 Batubara	24
2.3.1 Proses Pembentukan Batubara	27
2.3.2 Jenis-Jenis Batubara	29
2.3.3 Klasifikasi Batubara	31
2.3.4 Kualitas Batubara	35
2.3.5 Ukuran (<i>Coal Size</i>)	36
2.3.6 <i>Hardgrove Grindability Index</i> (HGI)	36
2.3.7 Kandungan <i>Moisture</i> (Kandungan Air).....	36
2.3.8 Zat Terbang (<i>Volatile Matter</i> atau VM (%))	37
2.3.9 Karbon Tetap (<i>Fixed Carbon/ FC</i>).....	38
2.3.10 Nilai Kalor (<i>Calorific Value/ CV</i>).....	38
2.3.11 Kadar Abu (<i>Ash Content (%)</i>)	38

2.3.12	Kadar Sulfur	39
2.3.13	Titik Leleh Abu Batubara (<i>Ash Fusion Temperature, AFT</i>).....	41
2.3.14	Briket Batubara.....	42
2.4	Kayu	43
2.4.1	Nilai Kalor Kayu	46
2.4.2	Kadar Air	47
2.4.3	Komposisi Kimia Kayu	49
2.4.4	Kadar Karbon Terikat dan Kadar Abu	50
2.4.5	Briket Kayu	50
BAB III : PELLETT KAYU.....		52
3.1	Sejarah Pellet Kayu	52
3.2	Pertumbuhan Permintaan Pellet Kayu Di Dunia.....	56
3.3	Peran Dan Status Indonesia Dalam Produksi Dan Penggunaan Pellet Kayu/Pellet Energi Di Dunia.....	62
3.4	Komposisi Kimia Biomassa Bahan Baku Pellet Energi.....	66
3.4.1	Selulosa.....	66
3.4.2	Hemiselulosa	67
3.4.3	Lignin	68
3.5	Teknologi Produksi Pellet Kayu/Pellet Energi.....	69
3.5.1	Penghancuran Biomassa (<i>Chipping & Milling</i>)	70
3.5.2	Pengeringan (<i>Drying</i>)	71
3.5.3	Pencetakan Pellet (<i>Pelleting</i>).....	72
3.5.4	Pendinginan dan Penyimpanan (<i>Cooling</i>).....	75
3.5.5	Pengemasan dan Distribusi.....	76
3.6	Standar Mutu (Kualitas) Pellet Kayu/Pellet Energi Global.....	78
3.7	Penelitian Pellet Kayu	83
BAB IV : KARAKTERISTIK PEMBAKARAN		85
4.1	Pembakaran	85
4.2	Bahan Bakar	86
4.2.1	Bahan Bakar Padat	86
4.2.2	Pembakaran Bahan Bakar Padat.....	87

4.2.3	Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pembakaran	
	Bahan Bakar Padat	88
4.2.4	Pola Penyebaran Api Bahan Bakar Padat.....	89
4.3	Karakteristik Pembakaran Briket dan Pellet	89
4.4	Simulasi Karakteristik Pembakaran	90
4.5	Penelitian Karakteristik Pembakaran	95

DAFTAR PUSTAKA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Bahan Bakar

Bahan bakar adalah suatu materi apapun yang bisa diubah menjadi energi. Biasanya bahan bakar mengandung energi panas yang dapat dilepaskan dan dimanipulasi. Kebanyakan bahan bakar digunakan manusia melalui proses pembakaran (reaksi redoks) di mana bahan bakar tersebut akan melepaskan panas setelah direaksikan dengan oksigen di udara. Proses lain untuk melepaskan energi dari bahan bakar adalah melalui reaksi kimia eksotermik. Hidrokarbon (termasuk di dalamnya bensin dan solar) sejauh ini merupakan jenis bahan bakar yang paling sering digunakan manusia. Bahan bakar lainnya yang bisa dipakai adalah logam radioaktif. Kadang-kadang materi yang digunakan untuk memproduksi energi melalui reaksi nuklir (yaitu peluruhan radioaktif, fisi nuklir atau fusi nuklir) juga termasuk bahan bakar. Jenis-jenis bahan bakar berdasarkan materinya, yaitu:

1. Bahan bakar tidak berkelanjutan

Bahan bakar tidak berkelanjutan bersumber pada materi yang diambil dari alam dan bersifat konsumtif. Sehingga hanya bisa sekali dipergunakan dan bisa habis keberadaannya di alam. Misalnya bahan bakar berbasis karbon seperti produk-produk olahan minyak bumi.

2. Bahan bakar berkelanjutan

Bahan bakar berkelanjutan bersumber pada materi yang masih bisa digunakan lagi dan tidak akan habis keberadaannya di alam. Misalnya tenaga matahari.

Jenis-jenis bahan bakar, berdasarkan bentuk dan wujudnya, antara lain:

1. Bahan bakar padat

Bahan bakar padat merupakan bahan bakar berbentuk padat, dan kebanyakan menjadi sumber energi panas. Misalnya kayu dan batubara. Energi panas yang dihasilkan bisa digunakan untuk memanaskan air menjadi uap untuk menggerakkan peralatan dan menyediakan energi.

2. Bahan bakar cair

Bahan bakar cair adalah bahan bakar yang strukturnya tidak rapat, jika dibandingkan dengan bahan bakar padat molekulnya dapat bergerak bebas. Bensin/gasolin/premium, minyak solar, minyak tanah adalah contoh bahan bakar cair. Bahan bakar cair yang biasa dipakai dalam industri, transportasi maupun rumah tangga adalah fraksi minyak bumi. Minyak bumi adalah campuran berbagai hidrokarbon yang termasuk dalam kelompok senyawa: parafin, naphtena, olefin, dan aromatik. Kelompok senyawa ini berbeda dari yang

lain dalam kandungan hidrogennya. Minyak mentah, jika disuling akan menghasilkan beberapa macam fraksi, seperti: bensin atau premium, kerosen atau minyak tanah, minyak solar, minyak bakar, dan lain-lain. Setiap minyak petroleum mentah mengandung keempat kelompok senyawa tersebut, tetapi perbandingannya berbeda

3. Bahan bakar gas

Bahan bakar gas ada dua jenis, yakni Compressed Natural Gas (CNG) dan Liquid Petroleum Gas (LPG). CNG pada dasarnya terdiri dari metana sedangkan LPG adalah campuran dari propana, butana dan bahan kimia lainnya. LPG yang digunakan untuk kompor rumah tangga, sama bahannya dengan Bahan Bakar Gas yang biasa digunakan untuk sebagian kendaraan bermotor.

1.2 Bahan Bakar Padat

Bahan bakar padat adalah mengacu pada berbagai bentuk bahan padat yang dapat dibakar untuk melepaskan energi, memberikan panas dan cahaya melalui proses pembakaran. Bahan bakar padat dapat dibandingkan dengan bahan bakar cair dan bahan bakar gas. Bahan bakar padat banyak digunakan pada proses pembakaran pembangkitan uap untuk pembangkit daya, prosesing, dan sebagainya.. Pada proses pembakaran bahan bakar padat terlebih dahulu mencair, kemudian menguap menjadi gas dan lalu terbakar. Beberapa contoh bahan bakar padat antara lain: kayu bakar, arang, batubara, briket, pellet, dan sebagainya (Wardana, 2008:30).

1. Kayu bakar

Kayu bakar merupakan energi padat atau jumlah seluruh kayu kasar yang digunakan untuk bahan bakar. Kayu bakar merupakan sumber energi penting untuk memasak baik untuk rumah tangga maupun industri rumah tangga di wilayah pedesaan. Kayu bakar sangat bermanfaat sebagai penghangat ruangan, bila sedang terjadi cuaca dingin, bermanfaat untuk memasak makanan, dan sebagai bahan bakar berbagai jenis industri rumah tangga. Industri yang menggunakan kayu bakar sebagai bahan bakar yaitu, industri batu bata, industri tembakau, dan lain-lain.



Gambar 1.1 Kayu Bakar

(Sumber: [https://www.wikiwand.com/id/Kayu bakar](https://www.wikiwand.com/id/Kayu_bakar))

2. Arang

Arang merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85%-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Arang yang hitam, ringan, dan mudah hancur terdiri dari 85% - 98% karbon dan sisanya adalah abu atau bahan kimia lain.



Gambar 1.2 Arang Kayu

(Sumber: <https://id.wikipedia.org/wiki/Arang>)

3. Batu bara

Batu bara adalah salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pematubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan nitrogen dan oksigen. Batu bara juga adalah batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk, bisa berbentuk kubus, balok, bulat, atau segitiga. Analisis unsur memberikan rumus formula empiris seperti $C_{137}H_{97}O_9NS$ untuk bituminus dan $C_{240}H_{90}O_4NS$ untuk antrasit.



Gambar 1.3 Batubara Antrasit

(Sumber: https://id.wikipedia.org/wiki/Batu_bara)

4. Briket

Briket adalah produk pembriketan yang melalui proses pencetakan partikel-partikel padatan pada tekanan tertentu baik dengan atau tanpa bahan perekat maupun bahan tambah lainnya. Sebagai salah satu bentuk bahan bakar alternatif, briket merupakan bahan yang sederhana baik dalam proses pembuatan ataupun dari segi bahan baku yang digunakan sehingga bahan bakar briket memiliki potensi yang cukup besar untuk dikembangkan.

Briket dengan kualitas baik diantaranya memiliki sifat seperti tekstur yang halus, tidak mudah pecah, keras, aman bagi manusia dan lingkungan serta memiliki sifat-sifat penyalaan yang baik. Sifat penyalaan ini diantaranya adalah mudah menyala, waktu nyala cukup lama, tidak menimbulkan jelaga, asap sedikit dan cepat hilang serta nilai kalor yang cukup tinggi (Jamilatun, 2008).



Gambar 1.4 Briket

(Sumber: <https://id.wikipedia.org/wiki/Briket>)

5. Pellet kayu

Pellet kayu/pellet energi adalah bahan bakar nabati yang terbuat dari bahan organik atau biomassa yang terkompresi. Pada awal pengembangannya, bahan baku yang digunakan adalah kulit kayu, tetapi menghasilkan kadar abu yang cukup tinggi, yaitu berkisar 2,5%

hingga 17%. Sehingga bahan baku pellet kayu bergeser menjadi kayu tidak menggunakan kulit kayu lagi.



Gambar 1.5 Pellet Kayu

(Sumber: <https://fsc.fkt.ugm.ac.id/pelet-kayu-energi-terbarukan-yang-ramah-lingkungan/>)

BAB II

BRIKET

2.1 Briket

Briket adalah sumber energi yang berasal dari biomassa yang bisa digunakan sebagai energi alternatif pengganti, minyak bumi dan energi lain yang berasal dari fosil. Pembuatan briket dilakukan dengan proses penekanan atau pemadatan yang bertujuan untuk meningkatkan nilai kalor per satuan luas dari suatu biomassa yang akan digunakan sebagai energi alternatif, sehingga dengan ukuran biomassa yang relatif kecil akan dihasilkan energi yang besar. Selain itu bentuk biomassa menjadi lebih seragam, sehingga akan lebih mudah dalam proses penyimpanan dan pendistribusian. Briket dapat dibuat dari bahan baku yang banyak kita temukan dalam kehidupan sehari-hari, seperti batok kelapa, sekam padi, arang sekam, serbuk kayu (serbuk gergaji), bongkol jagung, daun, gambut, batubara dan kayu.

Beberapa jenis briket yang biasa diproduksi antara lain:

1. Jenis berkarbonasi

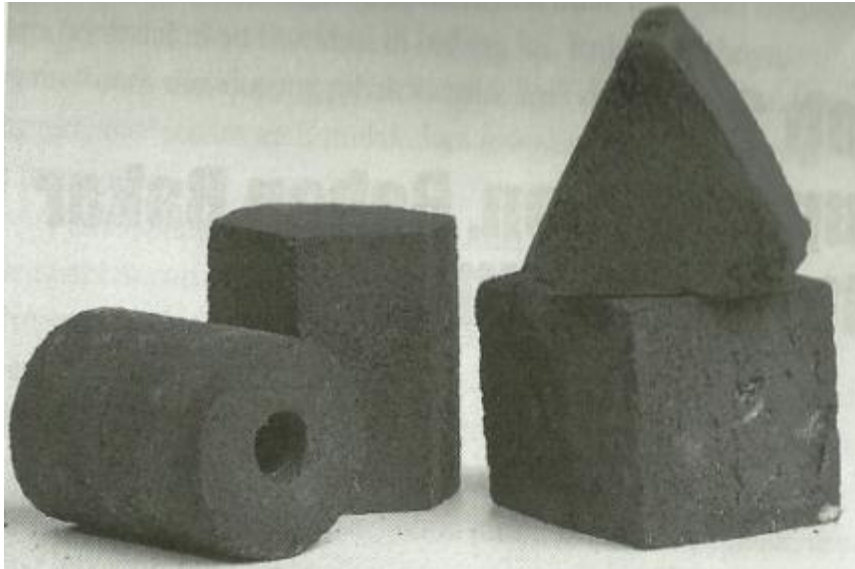
Jenis ini terlebih dahulu mengalami proses karbonasi/pengarangan sebelum menjadi briket. Dengan proses karbonisasi zat-zat terbang yang terkandung di dalam bahan dasar briket tersebut diturunkan serendah mungkin sehingga produk akhirnya tidak berbau dan berasap.

2. Jenis nonkarbonisasi

Jenis ini tidak mengalami karbonisasi sebelum diproses menjadi briket dan harganya lebih murah. Karena zat terbang masih terkandung di dalam bahan dasar briket maka pada penggunaannya lebih baik menggunakan tungku (bukan kompor), sehingga akan menghasilkan pembakaran yang sempurna dimana seluruh zat terbang yang muncul dari briket akan habis terbakar oleh lidah api dipermukaan tungku.

2.1.1 Bentuk Briket

Bentuk briket bermacam-macam tergantung dari bentuk cetakannya, ada yang berbentuk silinder, kubus, hexagonal/segi enam, segi delapan, bentuk telur, bentuk bantal, dan sebagainya. Untuk briket yang berukuran besar dibuat berlubang-lubang supaya mudah terbakar. Berbagai macam bentuk briket dapat di lihat dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Macam-macam bentuk briket
(Sumber: Sinurat, 2011)

2.1.2 Kualitas Briket

Briket yang memiliki kualitas baik tentu akan disenangi penggunaanya, karena akan dapat dimanfaatkan dengan lebih maksimal dan lebih menghemat pengeluaran. Kualitas briket ditentukan dengan analisa analisis *proximate* dan analisis *ultimate*.

1. Analisis *proximate*

Analisis *proximate* adalah analisa yang paling sederhana yaitu dengan memanaskan bahan bakar padat dengan memperhitungkan hasil-hasil pemanasan. Analisa ini memberikan data persen berat terhadap bahan bakar padat berdasarkan atas sifat komponen yang mudah menguap (*volatile matter*) dan tidak mudah membentuk gas (*non-volatile matter*). Pada analisis *proximate*, parameter yang digunakan adalah:

a. Kadar air (*moisture*)

Kadar air sangat mempengaruhi kualitas bahan bakar padat. Kadar air pada bahan bakar padat diharapkan serendah mungkin sehingga mudah dalam penyalaan awal dan menghasilkan nilai kalor yang tinggi. Kadar air yang tinggi menyulitkan penyalaan dan mengurangi temperatur pembakaran. Hal ini disebabkan energi yang dihasilkan akan banyak terserap untuk menguapkan air. Berdasarkan SNI 13-1477-1994, kadar air dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{kadar air} = \frac{W-B}{W} \times 100\% \quad (2-1)$$

di mana:

W = berat mula-mula (gram)

B = berat setelah dikeringkan (gram)

Kadar air (*moisture*) yang terdapat di dalam bahan bakar padat dapat dinyatakan dalam dua macam, yaitu *free moisture* (uap air bebas) dan *inherent moisture* (uap air terikat).

2.2 *Free moisture* (uap air bebas)

Free moisture dapat hilang dengan penguapan, misalnya dengan *air drying*. Kadar *free moisture* sangat penting dalam perencanaan *coal handling* dan *preparation equipment*.

2.3 *Inherent moisture* (uap air terikat)

Kadar *inherent moisture* dapat ditentukan dengan memanaskan briket antara temperatur 104 – 110°C selama satu jam.

b. Kadar abu

Abu merupakan mineral yang terkandung dalam bahan bakar padat dan merupakan bahan yang tidak dapat terbakar setelah proses pembakaran. Unsur utama abu adalah mineral silika dan pengaruhnya kurang baik terhadap nilai kalor yang dihasilkan, sehingga semakin tinggi kadar abu maka kualitasnya semakin rendah dan nilai kalornya menurun. Berdasarkan SNI 13-1477-1994, kadar abu dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{kadar abu} = \frac{F}{W} \times 100\% \quad (2-2)$$

di mana:

F = berat abu (gram)

W = berat mula-mula (gram)

c. Kadar zat-zat terbang (*volatile matter*)

Zat terbang terdiri dari gas-gas yang mudah terbakar seperti hidrogen, karbon monoksida (CO), dan metana (CH₄), tetapi kadang-kadang terdapat juga gas-gas yang tidak terbakar seperti CO₂ dan H₂O. *Volatile matter* merupakan bagian dari bahan bakar padat dimana akan berubah menjadi *volatile matter* (produk) bila bahan bakar padat tersebut dipanaskan tanpa udara pada suhu lebih kurang 9500 C. Untuk kadar *volatile matter* ± 40% pada pembakaran akan memperoleh nyala yang panjang dan akan memberikan asap yang banyak. Sedangkan untuk kadar *volatile matter* rendah antara 15% - 25% lebih disenangi dalam penggunaannya, karena asap yang dihasilkan sedikit. Berdasarkan SNI 13-1477-1994, kadar zat-zat terbang (*volatile matter*) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{kadar zat terbang} = \frac{W-B}{W} \times 100\% \quad (2-3)$$

di mana:

B = berat setelah dikeringkan (gram)

W = berat mula-mula (gram)

d. Kadar karbon terikat (*fixed carbon*)

Kadar karbon terikat (*fixed carbon*) merupakan kandungan karbon tetap yang terdapat pada bahan bakar padat yang berupa arang (char). Kandungan karbon terikat bukan merupakan karbon murni, karena masih mengandung Si, Al, Fe, Ti, Mg, dan lain-lain. Kadar karbon terikat dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Kadar karbon terikat} = 100 - (M + V + A) \text{ (\%)} \quad (\text{Wardana, 2008:32}) \quad (2-4)$$

e. Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan kalor yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna satu kilogram atau satu satuan berat bahan bakar padat atau cair atau satu meter kubik atau satu satuan volume bahan bakar gas pada keadaan baku (Fretes, 2013).

Nilai kalor briket diukur dengan menggunakan alat bomb calorimeter dan dihitung berdasarkan suhu awal dan suhu akhir dari masing-masing sampel briket. Nilai kalor dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Nilai kalor} = \frac{(EE \times \Delta T)}{\text{berat bahan}} - (\text{acid}) - (\text{fulse}) \quad (\text{Lab. Motor Bakar UB, 2016}) \quad (2-5)$$

di mana:

EE = 2408,267 (kal/g)

ΔT = selisih suhu akhir dan suhu awal ($^{\circ}\text{C}$)

Acid = sisa abu (kal/g)

Fulse = panjang sisa kawat (cm)

Nilai kalor bahan bakar padat terdiri atas high heating value (HHV) dan low heating value (LHV). High heating value (HHV) merupakan panas pembakaran dari bahan bakar yang di dalamnya masih termasuk latent heat dari uap air hasil pembakaran dan low heating value (LHV) merupakan panas pembakaran dari bahan bakar setelah dikurangi latent heat dari uap air hasil pembakaran (Fretes, 2013).

Dalam menentukan nilai high heating value (HHV) dapat digunakan persamaan:

$$\text{HHV} = 14544 C + 62028 (H - O/8) + 4050 S \quad \text{Btu/Lb bahan bakar} \quad (2-6)$$

$$\text{HHV} = 8080 C + 3446 (H - O/8) + 2250 S \quad \text{kkal/Kg bahan bakar} \quad (2-7)$$

$$\text{HHV} = 33950 C + 144200 (H - O/8) + 9400 S \quad \text{kJ/Kg bahan bakar} \quad (2-8)$$

di mana:

- C = kandungan karbon dalam bahan bakar
- H = kandungan hidrogen dalam bahan bakar
- O = kandungan oksigen dalam bahan bakar
- S = kandungan belerang dalam bahan bakar

Persamaan ini hanya berlaku bila data analisis ultimate tersedia dengan kandungan oksigen $\geq 10\%$ dan karbon $\geq 76\%$, penyimpangan hasil dengan uji laboratories lebih kurang 2% (Wardana, 2008:32).

Nilai low heating value (LHV) dapat diperoleh dengan persamaan:

$$\text{LHV} = \text{HHV} - x\text{LH} \quad (\text{Wardana, 2008:32}) \quad (2-9)$$

di mana:

x = berat H₂O yang terbentuk dalam proses pembakaran per satuan berat bahan bakar

LH = panas latent penguapan H₂O

$$= 1080 \text{ Btu/Lb H}_2\text{O}$$

$$= 600 \text{ kkal/Kg H}_2\text{O}$$

$$= 2400 \text{ kJ/Kg H}_2\text{O}$$

2. Analisis *ultimate*

Analisis *ultimate* memberikan informasi berupa persentase berat unsur karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, dan abu. Persentase karbon (C) diperoleh dengan membakar 0,2 g sampel bahan bakar dan hasil pembakarannya yang berupa CO₂ diserap oleh potassium hidroksida. Sedangkan hasil pembakarannya yang berupa uap air diserap oleh kalium chlorida dan ditimbang beratnya sebagai berat moisture sehingga diperoleh kadar hidrogennya (H). Prosentase abu diperoleh dari berat batu bara yang terbakar sebagai abu. Prosentase nitrogen (N₂) diperoleh dengan Metode Kjeldhal. Caranya satu gram sampel bahan bakar dipanaskan pada suatu gelas reaksi. Kemudian ditambahkan senyawa anhydrous potassium sulphat untuk meningkatkan reaksi kimia dan bubuk selenium sebagai katalis sehingga nitrogen yang terdapat pada bahan bakar bereaksi menjadi (NH₄)₂SO₂. Selanjutnya ditambahkan air sehingga (NH₄)₂SO₂ terdekomposisi menjadi ammonia yang akan menyerap asam pada senyawa tersebut sehingga berat nitrogen dapat diukur. Untuk pengukuran berat

sulphur, prosesnya hampir sama dengan pengukuran berat nitrogen tetapi senyawa yang digunakan adalah pyretic sulphur dan kalsium shulpat.

$$O_2 = 100 - (\text{jumlah prosentase C, H, N}_2, \text{ dan abu}) \quad (\text{Wardana, 2008:33}) \quad (2-10)$$

2.1.3 Perekat Briket

Perekat pada proses pembriketan berfungsi untuk merekatkan partikel-partikel bahan baku briket, sehingga dihasilkan briket yang kompak. Penggunaan perekat akan mengakibatkan ikatan antar butir-butir briket semakin kuat. Salah satu bahan yang umum digunakan sebagai perekat yaitu bahan perekat pati, dimana jenis-jenis pati tersebut antara lain pati jagung, kentang, tapioka, beras, sorgum, ubi jalar, sagu, dan lain-lain. Penggunaan perekat pati memiliki beberapa keuntungan yaitu harga murah, mudah pemakaiannya, dapat menghasilkan kekuatan kering yang tinggi, namun perekat ini memiliki kelamahan yaitu ketahanan terhadap air rendah, hal ini disebabkan karena perekat pati mempunyai sifat dapat menyerap air dari udara, sehingga memungkinkan mudah diserang jamur, bakteri, dan binatang pemakan pati. Secara umum perekat yang baik, yaitu mempunyai bau yang baik bila dibakar, kemampuan merekat yang baik, harga yang murah, dan mudah didapat (Fretes, 2013). Kandungan bahan perekat yang terbuat dari pati dapat di lihat dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kandungan bahan perekat pati

Jenis pati	Air (%)	Abu (%)	Lemak (%)	Protein (%)	Serat kasar (%)	Karbon (%)
Jagung	10,52	1,27	4,89	4,48	1,04	73,80
Beras	7,58	0,68	4,53	9,89	0,82	76,90
Terigu	10,70	0,86	2,00	11,50	0,64	74,20
Tapioka	9,84	0,36	1,50	2,21	0,69	85,20
Sagu	14,10	0,67	1,03	1,12	0,37	82,70

(Sumber: Malakauseya, 2013)

Banyaknya penambahan perekat pada briket memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sifat fisik dan karakteristik pembakaran briket tersebut. Semakin tinggi kadar perekat briket, maka kadar abu dan kadar air juga semakin tinggi serta menurunkan nilai kalor. Tingginya kadar perekat juga mengakibatkan briket menjadi rapuh dan mengurangi porositas briket (Fretes, 2013).

2.1.4 Tekanan Pembriketan

Proses penekanan pada pembuatan briket akan menentukan ketangguhan dari briket yang dihasilkan. Idealnya suatu briket tidak boleh rapuh dan tidak mudah pecah apabila diangkat atau dipindahkan. Disamping itu diusahakan masih terdapat pori-pori yang memungkinkan untuk dilalui oleh udara (dalam hal ini adalah oksigen untuk proses pembakaran). Pemberian tekanan yang optimum pada saat proses pembriketan akan mempengaruhi kerapatan dan sifat mampu alir dari udara, dimana seperti diketahui keberadaan oksigen sangat penting dalam proses pembakaran (Malakauseya, 2013).

Ukuran butiran mempengaruhi proses pembakaran dan kekuatan briket yang dihasilkan, karena ukuran yang lebih kecil akan menghasilkan rongga yang lebih kecil pula sehingga kemampuan tekan briket akan semakin besar. Distribusi ukuran butir briket akan menentukan penyusunan butir di dalam briket, briket dengan ukuran butir yang seragam akan memiliki daya ikat antar butir yang kuat dan akan semakin kuat bila dicampurkan dengan bahan perekat. Ukuran butir juga akan mempengaruhi proses pembakaran briket, karena semakin halus butir briket, maka akan semakin memperbesar bidang sentuh pada permukaan sehingga bidang kontak langsung dengan udara akan semakin baik dan reaksi pembakaran dapat berlangsung dengan baik (Malakauseya, 2013).

2.1.5 Standar Kualitas Briket Batubara

Sampai saat ini belum ada standar kualitas briket gambut ataupun briket biomassa, namun untuk briket batubara sudah memiliki standar kualitas. Standar kualitas briket batubara digunakan sebagai tolak ukur dari standar kualitas briket yang dibuat. Standar kualitas briket batubara di beberapa negara dan di Indonesia dapat di lihat dalam Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Standar kualitas briket batubara di berbagai negara

Standar briket batubara	Sifat-sifat briket				
	<i>Moisture</i> (%)	<i>Ash</i> (%)	<i>Volatile matter</i> (%)	<i>Fixed carbon</i> (%)	<i>Heating value</i> (kal/g)
Jepang	6-8	5-7	15-30	60-80	5000-6000
Inggris	3-4	8-10	16,4	75	5870
Amerika	6	16	19-28	60	4000-6500

(Sumber: Fretes, 2013)

Tabel 2.3 Standar kualitas briket batubara di Indonesia

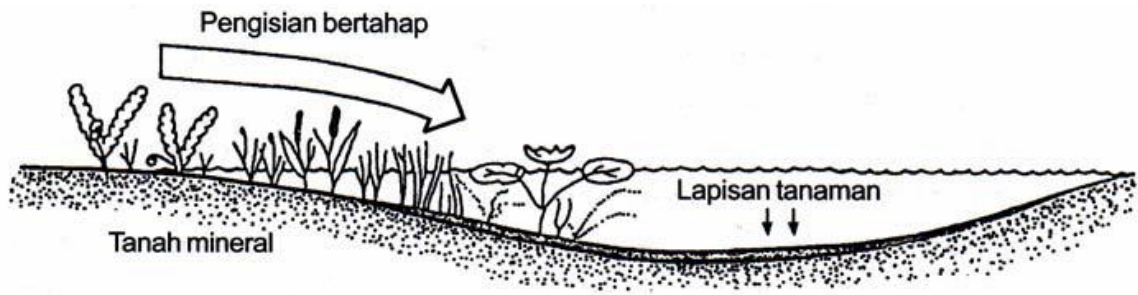
Batubara	Sifat-sifat briket				
	<i>Moisture</i> (%, adb)	<i>Ash</i> (%, adb)	<i>Volatile matter</i> (%, adb)	Kadar belerang total* (%, adb)	<i>Heating value</i> (kal/g, adb)
Terkarbonisasi tipe A	≤ 12	≤ 15	≤ 22	≤ 1	> 6000
Terkarbonisasi tipe B	≤ 12	≤ 20	≤ 22	≤ 1	4500-6000
Tanpa karbonisasi tipe A	≤ 17	≤ 20	Sesuai dengan batubara asal	≤ 1	5000-6000
Tanpa karbonisasi tipe B	≤ 17	≤ 20	Sesuai dengan batubara asal	≤ 1	4000-5000

Catatan: * tanpa penambahan kapur, adb (air-dried basis): kelembapan sampel ≈ kelembapan udara sekitarnya (Sumber: SNI - 4931)

2.2 Gambut

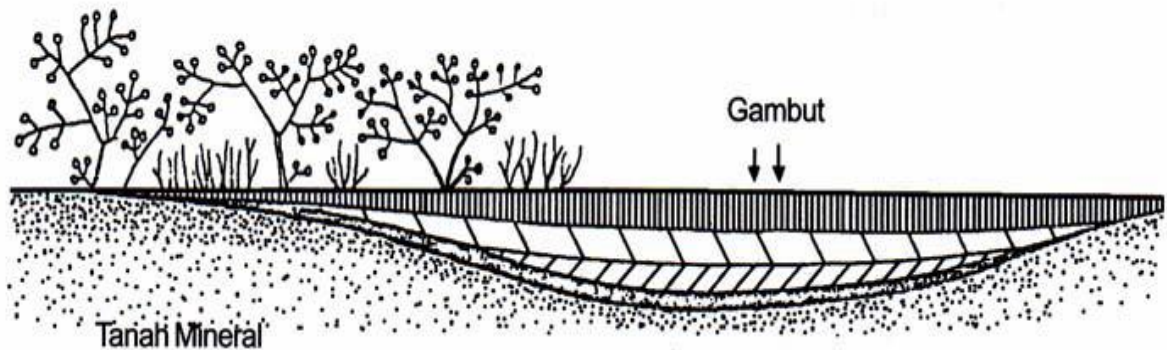
Gambut mempunyai banyak istilah padanan dalam bahasa asing, antara lain peat, bog, moor, mire, atau fen. Gambut terbentuk dari timbunan sisa-sisa tanaman yang telah mati, baik yang sudah lapuk maupun belum. Timbunan terus bertambah karena proses dekomposisi terhambat oleh kondisi anaerob dan/atau kondisi lingkungan lainnya yang menyebabkan rendahnya tingkat perkembangan biota pengurai. Pembentukan tanah gambut merupakan proses geogenik yaitu pembentukan tanah yang disebabkan oleh proses deposisi dan transportasi, berbeda dengan proses pembentukan tanah mineral yang pada umumnya merupakan proses pedogenik.

Proses pembentukan gambut dimulai dari adanya danau dangkal yang secara perlahan ditumbuhi oleh tanaman air dan vegetasi lahan basah. Tanaman yang mati dan melapuk secara bertahap membentuk lapisan yang kemudian menjadi lapisan transisi antara lapisan gambut dengan substratum (lapisan di bawahnya) berupa tanah mineral. Tanaman berikutnya tumbuh pada bagian yang lebih tengah dari danau dangkal ini dan secara membentuk lapisan-lapisan gambut sehingga danau tersebut menjadi penuh. Proses pembentukan gambut dapat di lihat dalam Gambar 2.2 dan Gambar 2.3.



Gambar 2.2 Pengisian Danau Dangkal Oleh Vegetasi Lahan Basah

(Sumber: Agus, et al. 2008)

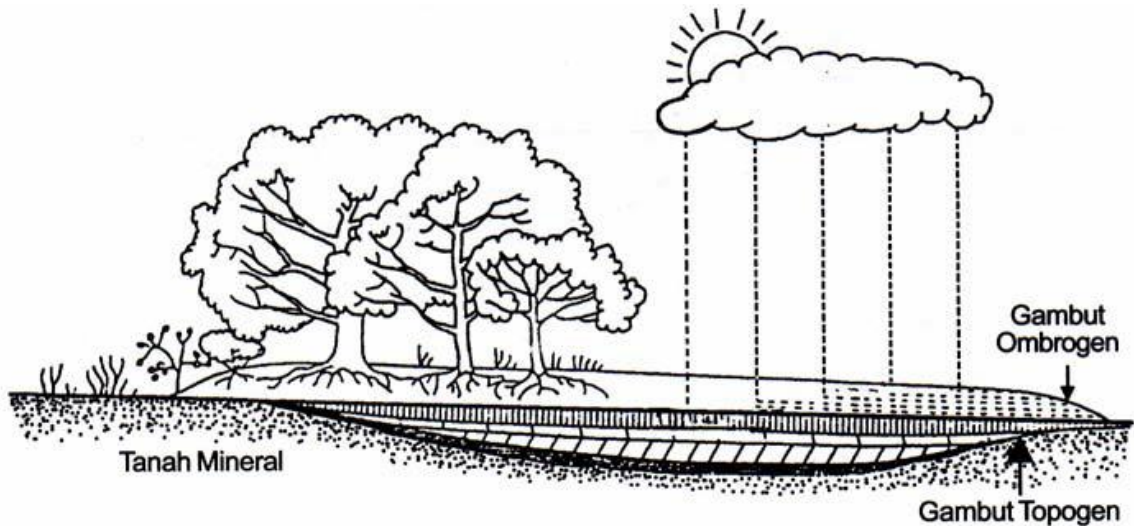


Gambar 2.3 Pembentukan Gambut Topogen

(Sumber: Agus, et al. 2008)

Bagian gambut yang tumbuh mengisi danau dangkal tersebut disebut dengan gambut topogen karena proses pembentukannya disebabkan oleh topografi daerah cekungan. Gambut topogen biasanya relatif subur (*eutrofik*) karena adanya pengaruh tanah mineral. Bahkan pada waktu tertentu, misalnya jika ada banjir besar, terjadi pengkayaan mineral yang menambah kesuburan gambut tersebut.

Tanaman tertentu masih dapat tumbuh subur di atas gambut topogen. Hasil pelapukannya membentuk lapisan gambut baru yang lama kelamaan membentuk kubah (*dome*) gambut yang permukaannya cembung (Gambar 2.4). Gambut yang tumbuh di atas gambut topogen dikenal dengan gambut ombrogen, yang pembentukannya ditentukan oleh air hujan. Gambut ombrogen lebih rendah kesuburannya dibandingkan dengan gambut topogen karena hampir tidak ada pengkayaan mineral (Agus, et al. 2008).



Gambar 2.4 Pembentukan Gambut Ombrogen Di Atas Gambut Topogen

(Sumber: Agus, et al. 2008)

2.2.1 Klasifikasi Gambut

Gambut diklasifikasikan berdasarkan berbagai sudut pandang yang berbeda; dari tingkat kematangan, kedalaman, kesuburan dan posisi pembentukannya. Berdasarkan tingkat kematangannya, gambut dibedakan menjadi:

- a. Gambut saprik (matang)

Merupakan gambut yang sudah melapuk lanjut dan bahan asalnya tidak dikenali, berwarna coklat tua sampai hitam, dan bila diremas kandungan seratnya < 15%. Contoh gambut saprik dapat di lihat dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Gambut Saprik

(Sumber: Dokumentasi pribadi, 2016)

b. Gambut hemik (setengah matang)

Merupakan gambut setengah lapuk, sebagian bahan asalnya masih bisa dikenali, berwarna coklat, dan bila diremas bahan seratnya 15 – 75%. Contoh gambut hemik dapat di lihat dalam Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Gambut Hemik

(Sumber: Agus, et al. 2008)

c. Gambut fibrik (mentah)

Merupakan gambut yang belum melapuk, bahan asalnya masih bisa dikenali, berwarna coklat, dan bila diremas > 75% seratnya masih tersisa (Agus, et al. 2008). Contoh gambut fibrik dapat di lihat dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Gambut fibrik

(Sumber: Agus, et al. 2008)

Berdasarkan tingkat kesuburannya, gambut dibedakan menjadi:

a. Gambut eutrofik

Merupakan gambut yang subur yang kaya akan bahan mineral, terutama kalsium karbonat dan basa-basa serta unsur hara lainnya. Gambut yang relatif subur biasanya adalah gambut yang tipis dan dipengaruhi oleh sedimen sungai atau laut. Bersifat netral atau sangat asam. Apabila akan dimanfaatkan sebagai bahan bakar pembangkit energi, jenis gambut ini banyak mengandung pengotor dalam bentuk senyawa anorganik (mineral) yang sulit terbakar, suhu yang dihasilkan relatif rendah sehingga dinilai kurang baik.

b. Gambut mesotrofik

Merupakan gambut yang agak subur karena memiliki kandungan mineral dan basa-basa.

c. Gambut oligotrofik

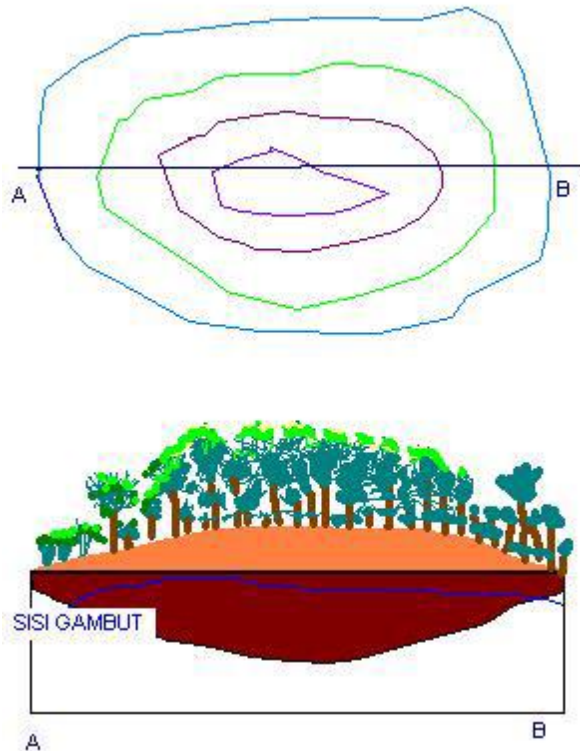
Merupakan gambut yang tidak subur karena miskin mineral, khususnya kalsium dan magnesium, bersifat asam atau sangat asam (mempunyai nilai $\text{pH} < 4$). Jenis gambut ini mengandung sedikit pengotor dalam bentuk bahan anorganik yang sulit terbakar, sehingga dinilai relatif baik jika akan dimanfaatkan sebagai bahan bakar penghasil energi (Sukandarrumidi, 2009).

Gambut di Indonesia sebagian besar tergolong gambut mesotrofik dan oligotrofik. Gambut eutrofik di Indonesia hanya sedikit dan umumnya tersebar di daerah pantai dan di sepanjang jalur aliran sungai. Tingkat kesuburan gambut ditentukan oleh kandungan bahan mineral dan basa-basa, bahan substratum/dasar gambut dan ketebalan lapisan gambut. Gambut di Sumatra relatif lebih subur dibandingkan dengan gambut di Kalimantan.

Berdasarkan lingkungan pembentukannya, gambut dibedakan atas:

a. Gambut ombrogen

Merupakan gambut yang terbentuk pada lingkungan yang hanya dipengaruhi oleh air hujan. Gambut ombrogen cukup baik dimanfaatkan sebagai bahan bakar penghasil energi karena terbentuk dari tanaman pepohonan yang kadar kayunya tinggi, namun kurang sesuai untuk lahan pertanian karena kekurangan unsur anorganik (mineral). Gambut jenis ini umumnya berada di tengah-tengah kawasan atau sekitar kubah, berada di rawa lebak, atau rawa pedalaman dan rawa pasang surut yang tidak terkena luapan pasang laut. Gambut jenis ini digolongkan juga sebagai gambut oligotropik dan sebagai gambut mesotropik yang luasnya di Indonesia mencapai 4,46 hektar dengan ketebalan > 2 meter. Posisi kubah gambut dapat dilihat dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Posisi Kubah Gambut Pada Suatu Fisiografi
(Sumber: Ritung, et al. 2011)

b. Gambut topogen

Merupakan gambut yang terbentuk di lingkungan yang mendapat pengayaan air pasang. Dengan demikian gambut topogen akan lebih kaya mineral dan lebih subur dibandingkan dengan gambut ombrogen. Gambut jenis ini kurang sesuai dimanfaatkan sebagai bahan bakar penghasil energi karena banyak mengandung unsur anorganik (mineral) yang dianggap sebagai pengotor. Jenis gambut ini disebut pula sebagai gambut eutropik, tersebar di lahan-lahan rawa pasang surut yang umumnya terpengaruh oleh pasang, baik secara langsung atau tidak langsung (Sukandarrumidi, 2009).

Berdasarkan kedalamannya gambut dibedakan menjadi:

- a. Gambut dangkal (50 – 100 cm).
- b. Gambut sedang (100 – 200 cm).
- c. Gambut dalam (200 – 300 cm).
- d. Gambut sangat dalam (> 300 cm).

Berdasarkan proses dan lokasi pembentukannya, gambut dibagi menjadi:

- a. Gambut pantai

Merupakan gambut yang terbentuk dekat pantai laut dan mendapat pengayaan mineral dari air laut.

b. Gambut pedalaman

Merupakan gambut yang terbentuk di daerah yang tidak dipengaruhi oleh pasang surut air laut tetapi hanya oleh air hujan.

c. Gambut transisi

Merupakan gambut yang terbentuk di antara kedua wilayah tersebut, yang secara tidak langsung dipengaruhi oleh air pasang laut (Agus, et al. 2008).

2.2.2 Karakteristik Kimia Gambut

Karakteristik kimia lahan gambut di Indonesia sangat ditentukan oleh kandungan mineral, ketebalan, jenis mineral pada substratum (di dasar gambut), dan tingkat dekomposisi gambut. Kandungan mineral gambut di Indonesia umumnya kurang dari 5% dan sisanya adalah bahan organik. Fraksi organik terdiri dari senyawa-senyawa humat sekitar 10% hingga 20% dan sebagian besar lainnya adalah senyawa lignin, selulosa, hemiselulosa, lilin, tannin, resin, suberin, protein, dan senyawa lainnya. Lahan gambut umumnya mempunyai tingkat kemasaman yang relatif tinggi dengan kisaran pH 3 - 5.

Gambut di Indonesia (dan di daerah tropis lainnya) mempunyai kandungan lignin yang lebih tinggi dibandingkan dengan gambut yang berada di daerah beriklim sedang, karena terbentuk dari pohon-pohonan (Agus, et al. 2008). Komposisi kimia gambut yang berada di Sumatera dan Kalimantan ditunjukkan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Komposisi kimia gambut

Komponen	Sumatera (% bahan kering)	Kalimantan (% bahan kering)
Eter	4,77	2,50
Alkohol	4,75	6,65
Air	1,87	0,87
Hemisolulosa	1,95	1,95
Selulosa	10,61	3,61
Lignin	63,99	73,67
Protein	4,41	3,85

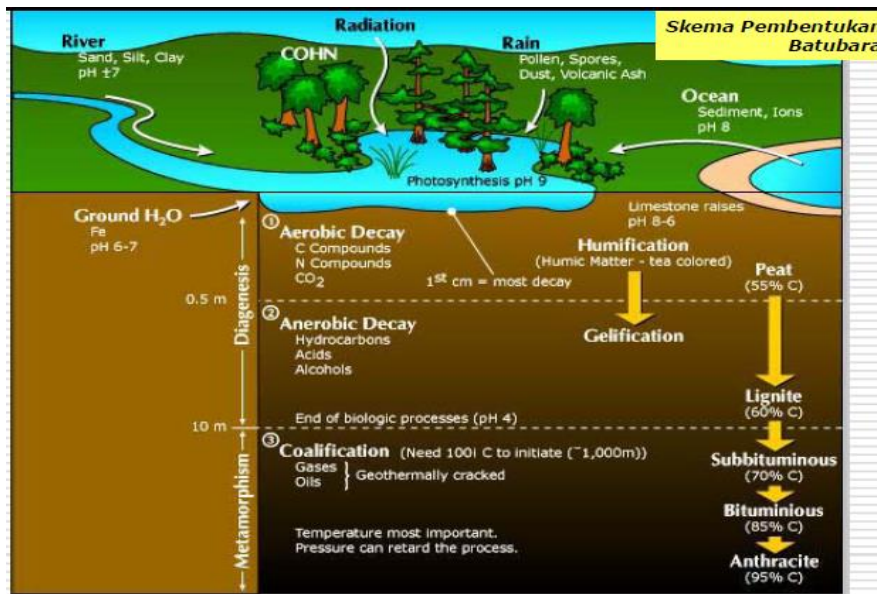
(Sumber: Sukandarrumidi, 2009)

Selain mengandung lignin yang tinggi lahan gambut juga mengandung banyak karbon. Lahan gambut hanya meliputi 3% dari luas daratan di seluruh dunia, namun menyimpan 550 Gigaton karbon (C) atau setara dengan 30% karbon tanah, 75% dari seluruh karbon atmosfer, setara dengan seluruh karbon yang dikandung biomassa (berat total makhluk hidup) daratan dan setara dengan dua kali simpanan karbon semua hutan di seluruh dunia.

Lahan gambut menyimpan karbon pada biomassa tanaman, seresah di bawah hutan gambut, lapisan gambut dan lapisan tanah mineral di bawah gambut. Dari berbagai simpanan tersebut, lapisan gambut dan biomassa tanaman menyimpan karbon dalam jumlah tertinggi (Agus, et al. 2008).

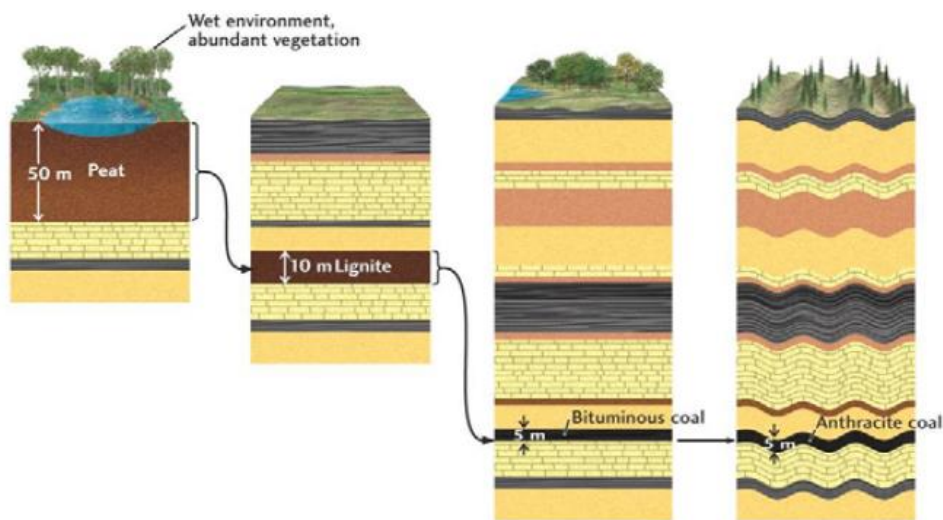
2.2.3 Proses Pembentukan Gambut Menjadi Batubara

Selama degradasi dari tanaman yang telah mati, dekomposisi dari protein, pati, dan selulosa lebih cepat daripada dari bahan kayu. Pada berbagai tingkat dan dengan berbagai kondisi iklim yang berbeda, konstituen dari tanaman akan terdekomposisi dalam kondisi aerob membentuk karbon dioksida, air, dan ammonia. Proses ini disebut humifikasi dan akan membentuk gambut. Gambut ini kemudian tertutup oleh lapisan sedimen, tanpa adanya udara, dan karenanya tahap kedua dari proses pembentukan batubara terjadi dalam kondisi anaerob. Pada tahap kedua, proses gabungan antara temperatur, tekanan, dan waktu akan mengubah lapisan gambut menjadi brown coal (lignit), dan kemudian sub-bituminus, dan kemudian membentuk antrasit. Jenis-jenis batubara ini umumnya disebut dengan batubara hitam (black coals). Dalam kondisi yang paling basah (lembab) akan dihasilkan batubara dengan mutu yang paling rendah yaitu batubara coklat (lignit). Pada temperatur dan tekanan yang lebih tinggi dan dengan waktu yang cukup, akan membentuk batubara subbituminus, bituminous ($C_{137}H_{97}O_9NS$) dan bahkan membentuk antrasit ($C_{240}H_{90}O_4NS$) (Jasmine, 2011). Gambar 2.9 dan Gambar 2.10 menjelaskan proses pembentukan gambut menjadi batubara.



Gambar 2.9 Skema Pembentukan Batubara

(Sumber: www.infotambang.com)



Gambar 2.10 Skema Pembentukan Batubara (Perubahan Ketebalan)

(Sumber: www.infotambang.com)

2.2.4 Gambut di Kalimantan Selatan

Kalimantan Selatan merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki lahan gambut cukup luas, yaitu 1.484.000 Ha yang tersebar di beberapa kabupaten. Lahan gambut di Kalimantan Selatan sebagian besar masih berupa hutan dan semak belukar, tetapi ada juga yang sudah difungsikan sebagai lahan pertanian. Penggunaan lahan gambut sebagai lahan pertanian masih banyak menemui kesukaran terutama mengenai pengolahan lahan. Pemanfaatan gambut yang masih sebatas sebagai lahan pertanian ini cukup disayangkan

mengingat besarnya kandungan karbon gambut yang dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar dan energi alternatif. Pemanfaatan gambut sebagai sumber bahan bakar dan energi alternatif yaitu dengan membuat gambut menjadi briket, pellet, dan serbuk. Luas sumberdaya gambut di Indonesia ditunjukkan dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Luas sumberdaya gambut di Indonesia

Provinsi	Luas lahan gambut (Ha)	Persentase (%)
Papua	4.600.000	24,9
Kalimantan Barat	461.000	29,0
Kalimantan Tengah	2.162.000	11,7
Kalimantan Selatan	1.484.000	8,0
Kalimantan Timur	1.053.000	5,7
Riau	1.704.000	9,2
Sumatera Selatan	990.000	5,4
Jambi	900.000	4,9
Sumatera Utara	335.000	1,8
Aceh	270.000	1,5
Sumatera Barat	31.000	< 0,1
Lampung	24.000	< 0,1
Bengkulu	22.000	< 0,1
Jawa Barat	25.000	< 0,1
Maluku	20.000	< 0,1
Sulawesi Tenggara	18.000	< 0,1
Sulawesi Tengah	15.000	< 0,1
Sulawesi Selatan	1.000	< 0,1
Jumlah	18.480.000	100,00

(Sumber: Sukandarrumidi, 2009)

2.2.5 Potensi Energi Gambut di Kalimantan Selatan

Gambut memiliki potensi yang sangat besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Selama pemanfaatan gambut yang kurang justru terkadang malah merugikan masyarakat, seperti terjadinya kebakaran lahan gambut pada saat musim kemarau yang menimbulkan kabut asap selama berhari-hari sehingga mengganggu kesehatan masyarakat.

Ini lah yang mendorong kita agar dapat memanfaatkan gambut dengan lebih baik dan bijak, pemanfaatan gambut sebagai sumber energi alternatif sangat didukung dengan faktor ketersediaan gambut yang melimpah di Indonesia khususnya Kalimantan Selatan.

Potensi sumberdaya gambut dapat dihitung dengan perkalian antara luas sebaran gambut dengan ketebalan rata-rata antara dua isopah (Sumberdaya = isi \times bulk density). Luas sebaran gambut dibagi menjadi tiga bagian menurut ketebalannya, yaitu sebaran gambut dengan ketebalan antara 1-3 m, 3-5 m dan >5 m. Ketebalan gambut rata-rata ialah ketebalan antara dua isopah yang dibagi menjadi tiga bagian yaitu 2 m , 4 m dan 5,5 m (Wijaya, 2006).

Berdasarkan Tabel 2.5 diketahui luas lahan gambut di Kalimantan Selatan sebesar 1.484.000 Ha = $14.840 \times 10^6 \text{ m}^2$ dengan perkiraan kedalaman gambut sebesar 2 m, sehingga diperoleh volume gambut di Kalimantan Selatan = $29680 \times 10^6 \text{ m}^3$ dengan *Bulk density* = 127 kg/m^3 , $\pm 5 \%$ air, ketebalan > 1 m (Tjahjono, 2007).

Maka,

$$\begin{aligned} \text{Sumberdaya gambut} &= \text{isi} \times \text{bulk density} \\ &= 29680 \times 10^6 \times 127 \\ &= 3.769.360 \times 10^6 \text{ kg} = 3.769.360 \times 10^9 \text{ g} \end{aligned}$$

Jadi sumberdaya gambut di Kalimantan Selatan sebesar $3.769.360 \times 10^9 \text{ g}$ gambut kering ($\pm 5 \%$ air, *bulk density* 127 kg/m^3). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa gambut yang ada di Kalimantan Selatan memiliki nilai kalor sebesar 4828 kal/g (Tjahjono, 2007).

Sehingga potensi energi gambut yang ada di Kalimantan Selatan dapat di hitung dengan persamaan seperti di bawah ini:

$$\begin{aligned} \sum \text{EG}_{\text{Kalimantan Selatan}} &= \text{sumberdaya gambut} \times \text{nilai kalor} \\ \sum \text{EG}_{\text{Kalimantan Selatan}} &= 3.769.360 \times 10^9 \text{ g} \times 4828 \text{ kal/g} \\ &= 18198 \times 10^{15} \text{ kal} \end{aligned}$$

Jadi potensi energi gambut yang ada di Kalimantan Selatan diperkirakan sebesar $18198 \times 10^{15} \text{ kal}$. Potensi energi ini sangat besar untuk digunakan sebagai energi alternatif dan mendukung ketersediaan energi nasional. Kedepannya dalam pemanfaatan energi gambut ini diperlukan kajian lebih lanjut lagi mengenai dampak pemanfaatannya bagi lingkungan dan masyarakat.

2.2.6 Briket Gambut

Briket gambut sebagai energi alternatif dituntut memiliki kualitas yang baik diantaranya memiliki sifat seperti tekstur yang halus, tidak mudah pecah, keras, aman bagi manusia dan lingkungan serta memiliki sifat-sifat penyalaan yang baik. Sifat penyalaan ini diantaranya adalah mudah menyala, waktu nyala cukup lama, tidak menimbulkan jelaga, asap sedikit dan cepat hilang serta nilai kalor yang cukup tinggi. Untuk lebih meningkatkan kualitas, briket gambut juga dapat dicampur dengan biomassa seperti arang jerami, serbuk kayu, pelepah sawit, dan lain-lain. Penelitian-penelitian tentang briket gambut, yaitu:

1. Pembuatan Briket Arang Dari Tanah Gambut Pengganti Kayu Bakar. Penelitian ini dilakukan oleh Maryati Doloksaribu pada tahun 2014. Dari penelitian ini diketahui bahwa briket arang tanah gambut dapat dipakai sebagai pengganti kayu bakar untuk keperluan rumah tangga. Artikel jurnal ini dapat diakses melalui halaman https://www.researchgate.net/publication/314080916_Pembuatan_Briket_Arang_Dari_Tanah_Gambut_Pengganti_Kayu_Bakar.
2. Pengaruh Persentase Briket Campuran Gambut Dan Arang Pelepah Daun Kelapa Sawit Terhadap Sifat Fisik Briket. Penelitian ini dilakukan oleh I Wayan Wawan Mariki dan Andy Nugraha pada tahun 2018. Dari penelitian ini diketahui bahwa Sifat fisik briket terbaik ada pada persentase briket campuran gambut dan arang pelepah daun kelapa sawit 50%:50% (GA1). Pada persentase ini menghasilkan kadar air terendah, kadar abu terendah, kadar zat-zat terbang (*volatile matter*) terendah, kadar karbon terikat (*fixedcarbon*) tertinggi, dan nilai kalor tertinggi dibandingkan dengan persentase campuran briket lainnya. Artikel jurnal ini dapat diakses melalui halaman <https://e-prosiding.poliban.ac.id/index.php/snrt/issue/view/4>.

2.3 Batubara

Batubara merupakan bahan bakar hidrokarbon padat yang terbentuk dari proses penggabutan dan pembatubaraan di dalam suatu cekungan (daerah rawa) dalam jangka waktu geologis yang meliputi aktivitas bio-geokimia terhadap akumulasi flora di alam yang mengandung selulosa dan lignin. Proses pembatubaraan juga dibantu oleh faktor tekanan (berhubungan dengan kedalaman), dan suhu (berhubungan dengan pengurangan kadar air dalam batubara) (Sukandarrumidi, 1995).

Batubara dapat didefinisikan sebagai batuan sedimen yang terbentuk dari dekomposisi tumpukan tanaman selama kira-kira 300 juta tahun. Dekomposisi tanaman ini terjadi karena proses biologi dengan mikroba dimana banyak oksigen dalam selulosa diubah menjadi

karbondioksida (CO₂) dan air (H₂O). Perubahan yang terjadi dalam kandungan bahan tersebut disebabkan oleh adanya tekanan, pemanasan yang kemudian membentuk lapisan tebal sebagai akibat pengaruh panas bumi dalam jangka waktu berjuta-juta tahun, sehingga lapisan tersebut akhirnya memadat dan mengeras (Mutasim, 2010). Berikut merupakan penampakan batubara yang dapat dilihat dalam Gambar 2.11



Gambar 2.11 Batubara

(Sumber: <https://www.kideco.co.id/id/pengetahuan-batubara/>)

Batubara dikenal juga sebagai “emas” hitam. Masyarakat mengenalnya sebagai batu hitam yang bisa terbakar. Hal itu tidak salah karena tampilan dilapangan menunjukkan perbedaan kontras antara batubara dan batuan sekitarnya (Gambar 2.11). Batubara didefinisikan oleh beberapa ahli dan memiliki banyak pengertian di berbagai buku atau referensi. Di komunitas industri, definisi ini lebih spesifik lagi, yaitu batuan yang pada tingkat kualitas tertentu memiliki nilai ekonomi (Irwandy, 2014).

Batubara merupakan batuan sedimen yang secara kimia dan fisika adalah heterogen yang mengandung unsur-unsur karbon, hydrogen, serta oksigen sebagai komponen unsur utama dan belerang serta nitrogen sebagai unsur tambahan. Zat lain, yaitu senyawa anorganik pembentuk ash (debu), tersebar sebagai partikel zat mineral yang terpisah di seluruh senyawa batubara. Secara ringkas, batubara bisa didefinisikan sebagai batuan karbonat berbentuk padat, rapuh, berwarna coklat tua sampai hitam, dapat terbakar, yang terjadi akibat perubahan tumbuhan secara kimia dan fisik (Elliot, 1981).

Batubara ditemukan dalam endapan yang disebut lapisan yang berasal dari akumulasi vegetasi yang telah mengalami perubahan fisik dan kimia. Perubahan-perubahan ini termasuk pembusukan vegetasi, pengendapan dan penguburan oleh sedimentasi, pemadatan, dan transformasi sisa-sisa tanaman menjadi batuan organik yang ditemukan saat ini. Batubara memiliki karakteristik yang berbeda-beda di seluruh dunia dalam jenis bahan tanaman yang disimpan (jenis batubara), dalam tingkat metamorfisme atau batu bara (peringkat batu bara), dan dalam kisaran kotoran yang termasuk (kadar batu bara).

Ada banyak kantung cadangan batubara yang kecil terdapat di pulau Sumatra, Jawa, Kalimantan, Sulawesi dan Papua, namun demikian tiga daerah dengan cadangan batubara terbesar di Indonesia adalah:

- a. Sumatra Selatan
- b. Kalimantan Selatan
- c. Kalimantan Timur



Gambar 2.12 Persebaran Cadangan Batubara di Indonesia

(Sumber : <https://www.indonesia-investments.com/id/bisnis/komoditas/batu-bara/item236>)

Industri batubara Indonesia terbagi dengan hanya sedikit produsen besar dan banyak pelaku skala kecil yang memiliki tambang batubara dan konsesi tambang batubara (terutama di Sumatra dan Kalimantan). Ekspor batubara Indonesia berkisar antara 70 sampai 80 persen dari total produksi batubara, sisanya dijual di pasar domestik.

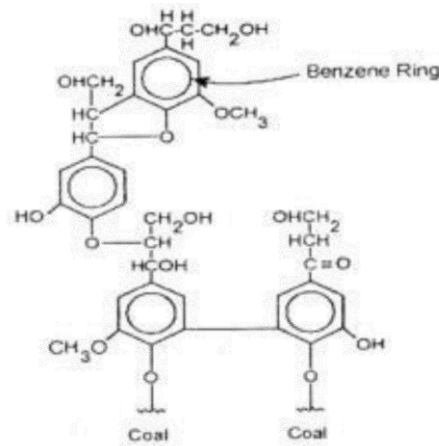
Tabel 2.6 Produksi, ekspor, konsumsi & harga batubara tahun 2007-2019

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Produksi (dalam juta ton)	217	240	254	275	353	412	474	458	461	456	461	425 ¹	400 ¹
Ekspor (dalam juta ton)	163	191	198	210	287	345	402	382	375	365	364	311 ¹	160 ¹
Domestik (dalam juta ton)	61	49	56	65	66	67	72	76	86	91	97	114 ¹	240 ¹
Harga (HBA) (USD/ton)	n.a	n.a	70.7	91.7	118.4	95.5	82.9	72.6	60.1	61.8	n.a.	n.a.	n.a.

(Sumber: Indonesian Coal Mining Association (APBI) & Ministry of Energy and Mineral Resources dalam <https://www.indonesia-investments.com/id/bisnis/komoditas/batu-bara/item236>)

2.3.1 Proses Pembentukan Batubara

Batubara terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan yang sudah mati, dengan komposisi terdiri dari cellulose. Proses pembentukan batubara, dikenal sebagai proses pematubaraan atau coalification. Faktor fisika dan kimia yang ada di alam akan mengubah cellulose menjadi lignit, subbitumina, bitumina, atau antrasit (Sukandarrumidi, 2018). Reaksi pembentukan batubara dapat diperlihatkan sebagai berikut:



Gambar 2.13 Rumus Kimia Batubara

(Sumber:

<https://eprints.upnyk.ac.id/21706/1/BUKU%20BATUBARA%20BAB%201%20DAN%202.pdf>)



Metan Cellulosa Lignit Air Gas

Keterangan

- Cellulosa (senyawa organik), merupakan senyawa pembentuk batubara.
- Unsur C pada lignit jumlahnya relative lebih sedikit dibandingkan jumlah unsur C pada bitumina, semakin banyak unsur C pada lignit, semakin baik kualitasnya.
- Unsur H pada lignit jumlahnya relative banyak dibandingkan jumlah unsur H pada bitumina semakin banyak unsur H pada lignit, semakin rendah kualitasnya.
- Senyawa gas metan (CH₄) pada lignit jumlahnya relative lebih sedikit dibandingkan dengan pada bitumina, semakin banyak CH₄ lignit semakin baik kualitasnya.

Proses pembentukan batubara terdiri atas dua tahap, yaitu:

1. Tahap biokimia (penggambutan) adalah tahap ketika sisa-sisa tumbuhan yang terakumulasi tersimpan dalam kondisi bebas oksigen (anaeorobik) didaerah rawa dengan sistem penisiran (drainage system) yang buruk dan selalu tergenang air

beberapa inci dari permukaan air rawa. Material tumbuhan yang busuk tersebut melepaskan unsur H, N, O, dan C dalam bentuk senyawa CO₂, H₂O dan NH₃ untuk menjadi humus. Selanjutnya oleh bakteri anaerobic dan fungi, material tumbuhan itu diubah menjadi gambut.

2. Tahap pembatubaraan (*coalification*) merupakan proses diagenesis terhadap komponen organik dari gambut yang menimbulkan peningkatan temperature dan tekanan sebagai gabungan proses biokimia, kimia dan fisika yang terjadi karena pengaruh pembebanan sedimen yang menutupinya dalam kurun waktu geologi. Pada tahap tersebut, persentase karbon akan meningkat, sedangkan persentase hidrogen dan oksigen akan berkurang sehingga menghasilkan batubara dalam berbagai tingkat maturitas material organiknya.

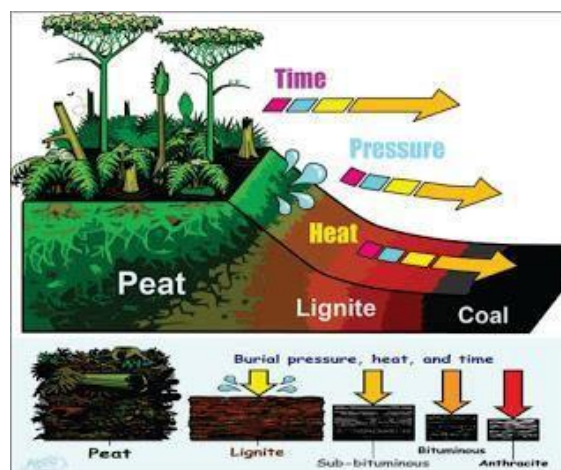
Teori yang menerangkan terjadinya batubara yaitu :

- a. Teori In-situ

Batubara terbentuk dari tumbuhan atau pohon yang berasal dari hutan ditempat dimana batubara tersebut. Batubara yang terbentuk biasanya terjadi di hutan basah dan berawa, sehingga pohon-pohon di hutan tersebut pada saat mati dan roboh, langsung tenggelam ke dalam rawa tersebut dan sisa tumbuhan tersebut tidak mengalami pembusukan secara sempurna dan akhirnya menjadi fosil tumbuhan yang membentuk sedimen organik.

- b. Teori Drift

Batubara terbentuk dari tumbuhan atau pohon yang berasal dari hutan yang bukan ditempat dimana batubara tersebut. Batubara yang terbentuk biasanya terjadi di delta mempunyai ciri-ciri lapisannya yaitu tipis, tidak menerus (*splitting*), banyak lapisannya (*multipleseam*), banyak pengotor (kandungan abu cenderung tinggi). Proses pembentukan batubara dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Proses Pembentukan Batubara

(Sumber : <https://neededthing.blogspot.com/2017/10/proses-pembentukan-batubara.html>)

2.3.2 Jenis-Jenis Batubara

Berdasarkan kualitasnya, batubara memiliki kelas (grade) yang secara umum diklasifikasikan menjadi empat kelas utama menurut standar ASTM atau lima kelas jika dimasukkan peat atau gambut sebagai jenis batubara yang paling muda. Dalam hal ini kelas batubara disertai dengan kriteria berdasarkan analisis proximate dan nilai kalornya, juga kriteria berdasarkan analisis ultimate dan kandungan sulfur total serta densitasnya. Masing-masing jenis batubara tersebut secara berurutan memiliki perbandingan C : O dan C : H yang lebih tinggi. Antrasit merupakan batubara yang paling bernilai tinggi, dan lignit, yang paling bernilai rendah.

a. Gambut/Peat

Golongan ini sebenarnya termasuk jenis batubara, tapi merupakan bahan bakar. Hal ini disebabkan karena masih merupakan fase awal dari proses pembentukan batubara. Endapan ini masih memperlihatkan sifat awal dari bahan dasarnya (tumbuh-tumbuhan).



Gambar 2.15 Gambut

(Sumber: <https://www.gurugeografi.id/2018/11/teori-terbentuknya-batu-bara-dan.html>)

b. Lignit

Lignit sering disebut juga brown-coal, golongan ini sudah memperlihatkan proses selanjutnya berupa struktur kekar dan gejala pelapisan. Apabila dikeringkan, maka gas dan airnya akan keluar. Endapan ini bisa dimanfaatkan secara terbatas untuk kepentingan yang bersifat sederhana, karena panas yang dikeluarkan sangat rendah sehingga seringkali digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik.



Gambar 2.16 Batubara Lignit

(Sumber : <https://www.gurugeografi.id/2018/11/teori-terbentuknya-batu-bara-dan.html>)

c. Subbituminous/Bitumen Menengah

Golongan ini memperlihatkan ciri-ciri tertentu yaitu warna yang kehitam-hitaman dan sudah mengandung lilin. Endapan ini dapat digunakan untuk pemanfaatan pembakaran yang cukup dengan temperatur yang tidak terlalu tinggi. Subbituminous umum digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga uap. Subbituminous juga merupakan sumber bahan baku yang penting dalam pembuatan hidrokarbon aromatis dalam industri kimia sintetis.



Gambar 2.17 Batubara Subbituminous

(Sumber : <https://www.gurugeografi.id/2018/11/teori-terbentuknya-batu-bara-dan.html>)

d. Bituminous

Bituminous merupakan mineral padat, berwarna hitam dan kadang coklat tua, rapuh (brittle) dengan membentuk bongkah-bongkah prismatic berlapis dan tidak mengeluarkan gas dan air bila dikeringkan sering digunakan untuk kepentingan transportasi dan industri serta untuk pembangkit listrik tenaga uap.



Gambar 2.18 Batubara Bituminous

(Sumber : <https://www.gurugeografi.id/2018/11/teori-terbentuknya-batu-bara-dan.html>)

e. Antrasit

Golongan ini berwarna hitam, keras, kilap tinggi, dan pecahannya memperlihatkan pecahan chocoidal. Pada proses pembakaran memperlihatkan warna biru dengan derajat pemanasan yang tinggi. Digunakan untuk berbagai macam industri besar yang memerlukan temperatur tinggi.



antrasit

Gambar 2.19 Batubara Antrasit

(Sumber : <https://www.gurugeografi.id/2018/11/teori-terbentuknya-batu-bara-dan.html>)

Semakin tinggi kualitas batubara, maka kadar karbon akan meningkat, sedangkan hidrogen dan oksigen akan berkurang. Batubara bermutu rendah, seperti lignite dan sub-bituminous, memiliki tingkat kelembaban (moisture) yang tinggi dan kadar karbon yang rendah, sehingga energinya juga rendah. Semakin tinggi mutu batubara, umumnya akan semakin keras dan kompak, serta warnanya akan semakin hitam mengkilat. Selain itu, kelembabannya pun akan berkurang sedangkan kadar karbonnya akan meningkat, sehingga kandungan energinya juga semakin besar.

2.3.3 Klasifikasi Batubara

Ada 3 macam klasifikasi yang dikenal untuk dapat memperoleh beda variasi kelas / mutu dari batubara yaitu:

1. Klasifikasi Menurut ASTM

Klasifikasi ini dikembangkan di Amerika oleh Bureau of Mines yang akhirnya dikenal dengan Klasifikasi menurut ASTM D388, 2005 (America Society for Testing and Material). Klasifikasi ini berdasarkan rank dari batubara itu atau berdasarkan derajat metamorphism nya atau perubahan selama proses coalifikasi (mulai dari lignite hingga antrasit). Untuk menentukan rank batubara diperlukan data fixed carbon (dmmf), volatile matter (dmmf) dan nilai kalor dalam Btu/lb dengan basis mmmf (*moist, mmf*). Cara pengklasifikasian :

- a. Untuk batubara dengan kandungan VM (*volatile matter*) lebih kecil dari 31% maka klasifikasi didasarkan atas FC nya, untuk ini dibagi menjadi 5 group, yaitu:
 1. FC lebih besar dari 98% disebut meta antrasit
 2. FC antara 92-98% disebut antrasit
 3. FC antara 86-92% disebut semiantrasit
 4. FC antara 78-86% disebut low volatile
 5. FC antara 69-78% disebut medium volatile

- b. Untuk batubara dengan kandungan VM lebih besar dari 31%, maka klasifikasi didasarkan atas nilai kalornya dengan basis mmmf
1. Group bituminous coal yang mempunyai moist nilai kalor antara 14.000-13.000 Btu/lb yaitu :
 - a. High Volatile A Bituminuos coal (>14.000)
 - b. High Volatile B Bituminuos coal (13.000-14.000)
 - c. High Volatile C Bituminuos coal (<13.000)
 2. Group Sub-Bituminous coal yang mempunyai moist nilai kalor antara 13.000 – 8.300 Btu/lb yaitu :
 - a. Sub-Bituminuos A coal (11.000-13.000)
 - b. Sub-Bituminuos B coal (9.000-11.000)
 - c. Sub-Bituminuos C coal (8.300-9.500)
- c. Untuk batubara jenis lignit
- Group Lignite coal dengan moist nilai kalor di bawah 8.300 Btu/lb yaitu: Lignit (8.300-6300) dan Brown Coal (<6300).

Tabel 2.7 Spesifikasi ASTM untuk bahan bakar padat

Class	Group		Fixed carbon	Volatile matter	Heating values
	Name	Symbol	Dry %	Dry %	Dry basis (Kcal/kg)
I. Anthracite	meta-anthracite	ma	> 98	>2	7740
	anthracite	an	92-98	2.0-8.0	8000
	semianthracite	sa	86-92	8.0-15	8300
II. Bituminous	low-volatile	lvb	78-86	14-22	8741
	medium volatile	mvb	89-78	22-31	8640
	high-volatile A	hvAb	<69	>31	8160
	high-volatile B	hvBb	57	57	6750 - 8160
	high-volatile C	hvCb	54	54	7410 - 8375
					6765 - 7410
III. Subbituminous	subbituminous A	subA	55	55	6880 - 7540
	subbituminous B	subB	56	56	6540 - 7230
	subbituminous C	subC	53	53	5990 - 6860
IV. Lignite	lignite A	ligA	52	52	4830 - 6360
	lignite B	ligB	52	52	<5250

(Sumber:

<https://eprints.upnyk.ac.id/21706/1/BUKU%20BATUBARA%20BAB%201%20DAN%202.pdf>)

2. Klasifikasi Menurut National Coal Board (NCB)

Klasifikasi ini dikembangkan di Eropa pada tahun 1946 oleh suatu organisasi Fuel Research dari departemen of Scientific and Industrial Research di Inggris. Klasifikasi ini berdasarkan rank dari batubara, dengan menggunakan parameter *volatile matter (dry, mineral matter free)* dan *cooking power* yang ditentukan oleh pengujian Gray King. Dengan menggunakan parameter VM saja NCB membagi batubara atas 4 macam, yaitu:

- a. *Volatile* dibawah 9,1%, dmmmf dengan coal rank 100 yaitu Antrasit
- b. *Volatile* diantara 9,1-19,5%,dmmmf dengan coal rank 200 yaitu *Low Volatile/Steam Coal*
- b. *Volatile* diantara 19,5-32%, dmmf dengan coal rank 300 yaitu *Medium Volatil Coal*
- c. *Volatile* lebih dari 32 %, dmmmf dengan coal rank 400-900 yaitu *Haig Volatile Coal*

Masing – masing pembagian di atas dibagi lagi menjadi beberapa sub berdasarkan tipe *coke Gray King* atau pembagian kecil lagi dari kandungan VM. Untuk *High Volatile Coal* dibagi berdasarkan sifat caking nya :

- a. *Very strongly caking* dengan rank code 400
- b. *Strongly caking* dengan rank code 500
- c. *Medium caking* dengan rank code 600
- d. *Weakly caking* dengan rank code 700
- e. *Very weakly caking* dengan rank code 800
- f. *Non caking* dengan ring code 900

3. Klasifikasi menurut International

Klasifikasi ini dikembangkan oleh Economic Commision for Europe pada tahun 1956. Klasifikasi ini dibagi atas dua bagian yaitu :

- a. *Hard Coal*

Di definisikan untuk batubara dengan gross calorific value lebih besar dari 10.260 Btu/lb atau 5.700 kcal/kg (moist, ash free). International System dari hard coal dibagi atas 10 kelas menurut kandungan VM (daf). Kelas 0 sampai 5 mempunyai kandungan VM lebih kecil dari 33% dan kelas 6 sampai 9 dibedakan atas nilai kalornya (mmaf) dengan kandungan VM lebih dari 33%. Masing-masing kelas dibagi atas 4 group (0-3) menurut sifat crackingnya ditentukan dari “Free Swelling Index” dan “Roga Index”. Masing group ini dibagi lagi atas sub group berdasarkan tipe dari coke yang diperoleh pengujian Gray King dan Audibert-Arnu

dilatometer test. Jadi pada International klasifikasi ini akan terdapat 3 angka, angka pertama menunjukkan kelas, angka kedua menunjukkan group dan angka ketiga menunjukkan sub-group. Sifat caking dan coking dari batubara dibedakan atas kelakuan serbuk batubara bila dipanaskan. Bila laju kenaikan temperature relative lebih cepat menunjukkan sifat caking. Sedangkan sifat coking ditunjukkan apabila laju kenaikan temperature lambat.

b. Brown Coal

International klasifikasi dari Brown coal dan lignite dibagi atas parameternya yaitu total moisture dan low temperature Tar Yield (*daf*). Pada klasifikasi ini batubara dibagi atas 6 kelas berdasarkan total moisture (*ash free*) yaitu :

1. Nomor kelas 10 dengan total moisture lebih dari 20%, ash free
2. Nomor kelas 11 dengan total moisture 20-30%, ash free
3. Nomor kelas 12 dengan total moisture 30-40%, ash free
4. Nomor kelas 13 dengan total moisture 40-50%, ash free
5. Nomor kelas 14 dengan total moisture 50-60%, ash free
6. Nomor kelas 15 dengan total moisture 60-70%, ash free

Kelas ini dibagi lagi atas group dalam 5 group yaitu:

1. No group 00 tar yield lebih rendah dari 10% daf
2. No group 10 tar yield antara 10-15 % daf
3. No group 20 tar yield antara 15-20 % daf
4. No group 30 tar yield antara 20-25 % daf
5. No group 40 tar yield lebih dari 25% daf

Berdasarkan nilai kalornya batubara dibagi menjadi 5 kategori seperti yang ditampilkan dalam tabel 2.8.

Tabel 2.8 Jenis batubara berdasar nilai kalor

	Penggunaan	Nyala (menit)	Nilai kalori (kal/gr)
1	Antrasit	5-10	7.222 - 7.778
2	Semi antrasit	9-10	5.100 - 7.237
3	Bituminous	10-15	4.444 - 6.111
4	Sub-bituminus	10-20	4.444 - 8.333
5	Lignit	15-20	3.056 - 4.611

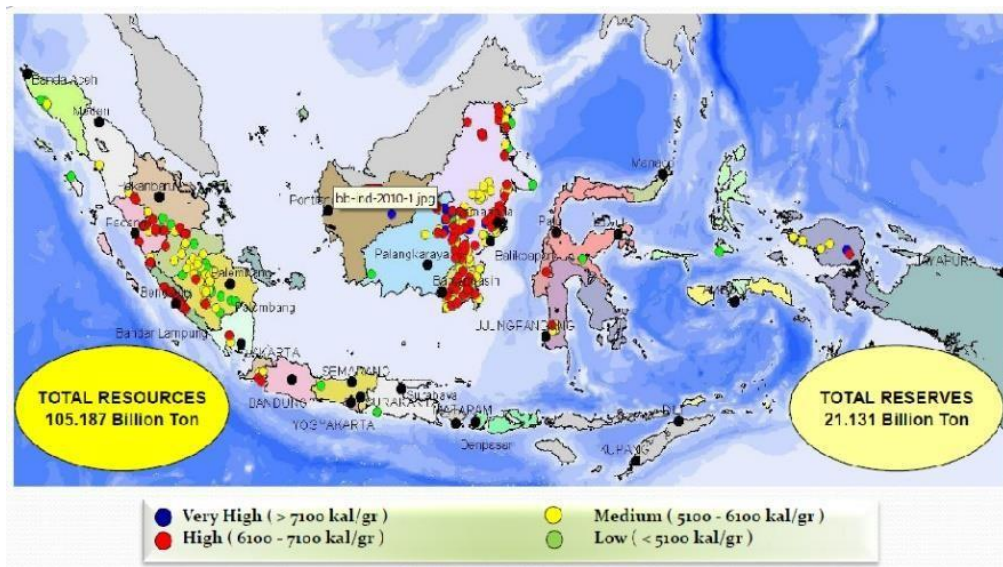
(Sumber :

<https://eprints.upnyk.ac.id/21706/1/BUKU%20BATUBARA%20BAB%201%20DAN%202.pdf>)

2.3.4 Kualitas Batubara

Batubara merupakan bahan mineral yang heterogen baik secara kimia maupun fisika, yang tersusun dari unsur utama karbon, hydrogen, oksigen, sedikit kandungan sulfur dan nitrogen. Tingkat pembatubaraan secara umum dapat dihubungkan dengan mutu atau kualitas batubara. Kualitas batubara dilihat dari semakin tingginya tingkat pembatubaraan maka kadar karbon akan meningkat sedangkan kadar hydrogen, oksigen, dan sulfur akan berkurang. Karbon pada batubara membentuk lebih dari 50% berat dan 70% volume (termasuk moisture). *Moisture* yang dimaksud adalah air yang terperangkap diantara partikel-partikel batubara. Batubara dengan tingkat pembatubaraan yang rendah, disebut juga batubara peringkat rendah, seperti lignit dan sub-bituminus biasanya lebih lembut dengan materi yang rapuh dan berwarna suram seperti tanah, memiliki moisture yang tinggi dan kadar karbon yang rendah, sehingga memiliki kandungan energi yang rendah. Semakin tinggi peringkat batubara, umumnya akan semakin keras dan kompak, serta warnanya akan semakin hitam mengkilat. Selain itu, kelembaban batubara pun akan berkurang sedangkan kadar karbonnya akan meningkat, sehingga memiliki kandungan energy yang juga semakin besar.

Di Indonesia sendiri batubara banyak sekali yang tersebar dimana batubara tersebut berjenis *low caloric-high caloric*. Penyebaran batubara ini dikarenakan Indonesia banyak terbentuk cekungan sedimen akibat aktifnya pergerakan lempeng yang diakibatkan pergerakan lempeng Eurasia dari utara ke selatan dan pergerakan lempeng Indo-Australia dari selatan ke utara.



Gambar 2.20 Peta Sebaran Kualitas Batubara di Indonesia

(Sumber : <http://geonaturalresource.blogspot.com/2015/10/jenis-batubara-indonesia-berdasarkan.html>)

2.3.5 Ukuran (*Coal Size*)

Dalam pengelompokan ukuran butir batubara dibatasi pada rentang butir halus (*pulverized coal atau dust coal*) dan butir kasar (*limp coal*). Pada kelompok ukuran butir paling halus berada pada ukuran maksimum 3 milimeter, sedangkan untuk kelompok ukuran butir paling kasar sampai dengan ukuran 50 milimeter. Butir paling halus dibatasi oleh dustness dan tingkat kemudahan diterbangkan angin sehingga dapat mengotori lingkungan. Tingkat dustness dan kemudahan diterbangkan masih ditentukan pula oleh kandungan moisture batubara. Ukuran partikel batubara pada umumnya menggunakan satuan mesh.

2.3.6 *Hardgrove Grindability Index (HGI)*

Merupakan parameter untuk mengindikasikan tingkat kekerasan dalam batubara yang nantinya berpengaruh terhadap proses size reduction. Semakin kecil nilai HGI, mengindikasikan batubara tersebut semakin keras. HGI merupakan suatu bilangan yang dapat menunjukkan mengenai mudah sukarnya batubara digerus. Harga dari HGI diperoleh dari persamaan sebagai berikut :

$$\text{HGI} = 13,6 + 6,93 W \quad (2.11)$$

W merupakan berat dalam gram dari batubara lembut berukuran 200 mesh. Penggolongan kekerasan batubara berdasarkan nilai HGI yaitu :

- d. HGI > 70 = soft (lunak)
- e. HGI 50 – 70 = medium soft (agak lunak)
- f. HGI 30 – 50 = hard (keras)

Rata-rata nilai HGI batubara Indonesia adalah berkisar 35- 60.

2.3.7 *Kandungan Moisture (Kandungan Air)*

Kandungan moisture pada batubara dapat mempengaruhi kegiatan pembatubaraan mulai dari eksplorasi, penanganan, penyimpanan, penggilingan hingga pembakaran. Berikut ini pengaruh *moisture* pada batubara, yaitu :

1. Kandungan *moisture* tinggi dapat meningkatkan biaya transportasi, penanganan, dan peralatan.
2. Semakin tinggi air di permukaan batubara akan semakin rendah daya gerus grinding mill yang menggerusnya.
3. Kandungan *moisture* akan mempengaruhi jumlah pemakaian udara primer. Batubara dengan kandungan moisture tinggi akan membutuhkan udara primer lebih banyak untuk mengeringkan batubara tersebut pada suhu keluar mill tetap.

Kandungan *moisture* pada batubara bukan seluruh air yang terdapat di dalam batubara baik besar maupun kecil dan yang terbentuk dari penguraian batubara selama pemanasan. Namun air pada batubara dapat ditemukan di dalam batubara maupun terurai dari batubara apabila dipanaskan sampai kondisi tertentu akibat terjadinya oksidasi.

Moisture dalam batubara berada dalam beberapa bentuk berbeda yaitu air bebas di permukaan; air yang terkondensasi di kapiler; air yang terserap, air yang terikat dengan gugus polar kation; dan air yang timbul akibat dekomposisi kimia baik material organik maupun inorganik.

2.3.8 Zat Terbang (*Volatile Matter* atau VM (%))

Volatile matter (VM) merupakan zat aktif yang menghasilkan energi panas apabila batubara tersebut dibakar. Umumnya terdiri dari gas-gas yang mudah terbakar seperti Hidrogen, Karbon Monoksida (CO) dan Metan (CH₄). *Volatile matter* sangat erat kaitannya dengan rank batubara, makin tinggi kandungan VM makin rendah kelasnya. Dalam pembakaran batubara dengan VM tinggi akan mempercepat pembakaran karbon tetap (*Fixed Carbon/FC*) dan intensitas nyala api. Sebaliknya bila VM rendah mempersulit proses pembakaran.

Kesempurnaan pembakaran ditentukan oleh :

$$\text{Fuel Ratio} = \frac{\text{fixed carbon}}{\text{volatile matter}} \quad (2.12)$$

Dengan semakin tingginya nilai *fuel ratio*, maka jumlah karbon yang tidak terbakar dalam batubara juga semakin banyak. Apabila perbandingan tersebut nilainya lebih dari 1,2 maka pengapiannya akan kurang bagus. Hal tersebut mengakibatkan kecepatan pembakaran akan menurun. Nisbah kandungan karbon (*fixed carbon*) terhadap kandungan zat terbang (*fuel ratio*) dari berbagai jenis batubara dapat dilihat dalam Tabel berikut :

Tabel 2.9 Fuel ratio berbagai jenis batubara

Jenis Batubara	<i>Fuel Ratio</i>
1. <i>Coke</i>	92
2. Antrasit	24
3. Semi antrasit	8,6
4. Bitumen	
• <i>Low volatile</i>	2,8
• <i>Medium volatile</i>	1,9
• <i>High volatile</i>	1,3
5. Lignit	0,9

(Sumber: Sukandarrumidi, 1995)

Zat Terbang (*Volatile Matter* atau VM) merupakan kuantitas sejumlah senyawa-senyawa yang mudah menguap. Senyawa volatile ini berperan sebagai pematik proses terbakarnya batubara. Semakin sedikitnya senyawa volatile pada batubara, maka akan semakin sulit batubara terbakar meskipun batubara tersebut memiliki fixed carbon yang besar.

2.3.9 Karbon Tetap (*Fixed Carbon/ FC*)

Fixed carbon merupakan kandungan utama dari batubara. Hal tersebut dikarenakan kandungan *fixed carbon* paling berperan dalam menentukan besarnya *heating value* suatu batubara. Kandungan *fixed carbon* yang semakin banyak, maka akan memperbesar heating value-nya. Nilai kadar karbon diperoleh melalui pengurangan angka 100 dengan jumlah kadar moisture (kelembaban), kadar abu, dan jumlah zat terbang. Nilai kadar karbon semakin bertambah seiring dengan tingkat pembatubaraan. Nilai kadar karbon dan jumlah zat terbang digunakan sebagai perhitungan untuk menilai kualitas bahan bakar, yaitu berupa nilai fuel ratio. Kadar Karbon Tetap (FC) adalah karbon yang terdapat dalam batubara yang berupa zat padat/ karbon yang tertinggal sesudah penentuan nilai zat terbang (VM). Melalui pengeluaran zat terbang dan kadar air, maka karbon tertambat secara otomatis sehingga akan naik. Dengan begitu makin tinggi nilai karbonnya, maka peringkat batubara meningkat.

2.3.10 Nilai Kalor (*Calorific Value/ CV*)

Nilai Kalor (CV) adalah penjumlahan dari harga-harga panas pembakaran unsur-unsur pembentuk batubara. Nilai kalor sangat berpengaruh terhadap pengoperasian pulverizer/ mill pipa batubara, dan windbox, serta burner. Nilai CV yang semakin tinggi maka aliran batubara setiap jam-nya semakin rendah sehingga kecepatan *coal feeder* harus disesuaikan. Sedangkan batubara dengan kadar kelembaban dan tingkat ketergerusan yang sama, maka dengan CV yang tinggi menyebabkan pulverizer akan beroperasi di bawah kapasitas normalnya atau dengan kata lain operating ratio-nya menjadi lebih rendah.

2.3.11 Kadar Abu (*Ash Content (%)*)

Komposisi batubara bersifat heterogen yang terdiri dari zat organik (lignin-selulosa-humus) maupun anorganik (besi, silika, aluminium, magnesium, dll) yang bercampur dengan batuan sedimen lain disekitarnya selama proses pembatubaraan berlangsung. Bila dibakar, senyawa anorganik diubah menjadi senyawa oksida dalam bentuk abu.

Abu merupakan komponen yang terkandung pada batubara yang tidak dapat terbakar. Pada umumnya abu ini berupa mineral yang berasal dari dalam tanah. Kandungan abu akan terbawa bersama gas pembakaran melalui ruang bakar dan daerah konversi dalam bentuk abu terbang (*fly ash*) yang jumlahnya mencapai 80% dan abu dasar sebanyak 20%. Kadar abu ini sangat berpengaruh terhadap tingkat pencemaran udara serta mengakibatkan terjadinya hujan asam (kontak abu yang mengandung SO_2 dengan air hujan) yang menyebabkan korosif pada peralatan (Sukandarrumidi, 2005). Senyawa abu yang dihasilkan dari pembakaran batubara tersebut antara lain SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Mn_3O_4 , CaO , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , Na_2O , P_2O_5 , dan SO_3 , yang dimana kadar abu batubara di Indonesia adalah sekitar 15-20%. Kadar abu untuk lignite, bitumin atau sub-bitumin ditampilkan dalam tabel 2.10.

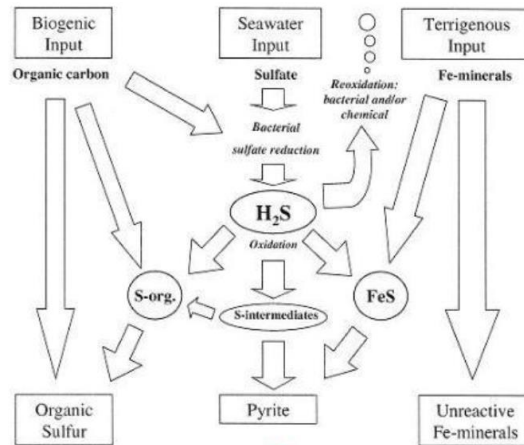
Tabel 2.10 Komposisi abu dalam batubara

Komponen	Kelas Batubara		
	Lignite	Bituminous	Sub-bituminous
SiO ₂	15-45%	20-60%	40-60%
Al ₂ O ₃	10-25%	5-35%	20-30%
Fe ₂ O ₃	4-15%	10-40%	4-10%
CaO	15-40%	1-12%	5-30%
MgO	3-10%	0.1-5%	1-6%
SO ₃	0.1-10%	0.1-4%	0.1-2%
Na ₂ O	0.1-6%	0.1-4%	0.1-2%
K ₂ O	0.1-4%	0.1-3%	0.1-4%

(Sumber: Sukandarrumidi, 2005)

2.3.12 Kadar Sulfur

Sulfur adalah salah satu komponen dalam batubara, yang terdapat sebagai sulfur organik maupun anorganik. Umumnya komponen sulfur dalam batubara terdapat sebagai sulfur syngenetik yang erat hubungannya dengan proses fisika dan kimia selama proses pengangkutan dan dapat juga sebagai sulfur epygenetik yang dapat diamati sebagai pirit pengisi cleat pada batubara akibat proses presipitasi kimia pada akhir proses pembatubaraan. Berikut adalah skema yang menunjukkan urutan proses pembentukan sulfur dalam batubara dapat dilihat pada Gambar 2.21



Gambar 2.21 Pembentukan sulfur dalam batubara
(Sumber: Suits dan Arthur, 2000)

Sulfur yang terdapat dalam batubara terbagi menjadi 3 jenis, yaitu :

1. Sulfur Pirit

Pirit dan markasit merupakan mineral sulfida yang paling umum dijumpai pada batubara. Kedua jenis mineral ini memiliki komposisi kimia yang sama (FeS_2) tetapi berbeda pada sistem kristalnya. Pirit berbentuk isometric sedangkan Markasit berbentuk orthorombik (Taylor G.H, et.al., 1998). Pirit (FeS_2) merupakan mineral yang memberikan kontribusi besar terhadap kandungan sulfur dalam batubara, atau lebih dikenal dengan sulfur pirit (Mackowsky, 1943 dalam Organic Petrology, 1998). Berdasarkan genesanya, pirit pada batubara dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

- a. Pirit Syngenetik, yaitu pirit yang terbentuk selama proses penggabungan (peatification). Pirit jenis ini biasanya berbentuk framboidal dengan butiran sangat halus dan tersebar dalam material pembentuk batubara (Demchuk, 1992).
- b. Pirit Epygenetik, yaitu pirit yang terbentuk setelah proses pembatubaraan. Pirit jenis ini biasanya terendapkan dalam kekar, rekahan dan cleat pada batubara serta biasanya bersifat masif.

2. Sulfur Organik

Sulfur organik merupakan suatu elemen pada struktur makromolekul dalam batubara yang kehadirannya secara parsial dikondisikan oleh kandungan dari elemen yang berasal dari material tumbuhan asal. Dalam kondisi geokimia dan mikrobiologis spesifik, sulfur inorganik dapat berubah menjadi sulfur organik. Sulfur organik dapat terakumulasi dari sejumlah material organik oleh proses penghancuran biokimia dan oksidasi. Namun secara umum, penghancuran biokimia merupakan proses yang paling penting dalam pembentukan sulfur

organik, yang pembentukannya berjalan lebih lambat pada lingkungan yang basah atau jenuh air.

Sulfur yang bukan berasal dari material pembentuk batubara diduga mendominasi dalam menentukan kandungan sulfur total. Sulfur inorganik yang biasanya melimpah dalam lingkungan marin atau payau kemungkinan besar akan berubah membentuk hidrogen sulfida dan senyawa sulfat dalam kondisi dan proses geokimia. Reaksi yang terjadi adalah reduksi sulfat oleh material organik menjadi hidrogen sulfida (H_2S). Reaksi reduksi ini dipicu oleh adanya bakteri *desulfovibrio* dan *desulfotomaculum*.

3. Sulfur Sulfat

Kandungan sulfur sulfat biasanya rendah sekali atau tidak ada kecuali jika batubara telah terlapukkan dan beberapa mineral pirit teroksidasi akan menjadi sulfat. Pada umumnya kandungan sulfur organik lebih tinggi pada bagian bawah lapisan, sedangkan kandungan sulfur piritik dan sulfat akan tinggi pada bagian atas dan bagian bawah lapisan batubara. Kadar S dalam batubara bervariasi, mulai dari jumlah yang sangat kecil hingga lebih dari 4%. Unsur S mudah bereaksi dengan unsur H atau O membentuk senyawa asam ($pH < 5$), yang dimana senyawa asam tersebut merupakan pemicu polusi. Sulfur anorganik dalam batubara dapat dikurangi dengan proses pencucian, yang dimana terbentuk dari reaksi reduksi sulfur primer oleh bakteri *desulfovibrio/desulfotomaculum* dan air tanah yang mengandung ion Fe^{2+} . Sulfur organik berikatan dengan senyawa hidrokarbon di batubara, yang terbentuk dari reduksi sulfat oleh material organik dibantu dengan bakteri menjadi hidrogen sulfida (H_2S) pada lingkungan kering dan minim kandungan Fe, sehingga tidak dapat dikurangi dengan proses pembersihan. Sedangkan sulfur sulfat biasa dijumpai dalam bentuk sulfat besi, sulfat barium dan sulfat kalsium dan tidak terlibat dalam pembentukan SOX (oksida sulfur) (Sukandarrumidi, 2005).

Kandungan S terbesar terdapat pada bagian ujung-ujung lapisan batubara serta kandungan S terkecil ($< 1\%$) didominasi oleh sulfur organik. Jika dibakar akan menghasilkan gas SO_2 , bila teremis di udara akan teroksidasi menjadi SO_3 . Apabila SO_3 berkontak dengan uap air, maka akan membentuk kabut asam yang akhirnya menjadi hujan asam yang dapat menyebabkan korosi pada alat yang berkontak dengan cairan asam tersebut.

2.3.13 Titik Leleh Abu Batubara (*Ash Fusion Temperature, AFT*)

Ash fusion temperature (AFT) merupakan titik leleh abu batubara. Abu batubara biasanya akan meleleh pada saat harga AFT-nya lebih rendah dari temperatur boiler tepatnya *furnace exit gas temperature* (FEGT) yang ditetapkan. Akibatnya, abu batubara berpotensi

membentuk slagging yang menyebabkan penurunan efisiensi boiler. Penurunan ini menyebabkan kerugian yang cukup besar bagi industri. Oleh karena itu, dibutuhkan nilai AFT batubara yang tinggi melebihi temperatur FEGT. Pengukuran temperatur leleh abu dilakukan dengan memanaskan abu batubara yang dibentuk kerucut di dalam suatu tungku. Temperatur pelelehan abu ini dibagi ke dalam empat kategori, yaitu:

1. Temperatur deformasi awal (initial temperatur, IT) Temperatur dimana pembulatan pada ujung kerucut terjadi.
2. Temperatur pelunakan (softening temperatur, ST) Temperatur dimana kerucut telah meleleh menjadi bulat dengan ketinggian sama dengan lebarnya.
3. Temperatur hemispherical (HT) merupakan temperatur dimana kerucut telah meleleh menjadi bentuk hemispherical dengan ketinggian menjadi setengah lebar dasarnya.
4. Temperatur Fluida (FT) merupakan temperatur dimana seluruh abu telah meleleh dengan ketinggian maksimal 1/16 inci.

2.3.14 Briket Batubara

Briket Batubara adalah bahan bakar padat yang terbuat dari batubara dengan sedikit campuran seperti tanah liat dan tapioka. Briket batubara mampu menggantikan sebagian dari kegunaan minyak tanah seperti untuk : pengolahan makanan, pengeringan, pembakaran dan pemanasan. bahan baku utama briket batubara adalah batubara yang sumbernya berlimpah di indonesia dan mempunyai cadangan untuk selama lebih kurang 150 tahun. Teknologi pembuatan briket tidaklah terlalu rumit dan dapat dikembangkan oleh masyarakat maupun pihak swasta dalam waktu singkat. Selain itu penelitian briket batubara juga telah banyak dilakukan akademisi, seperti:

1. Pembuatan Briket Batubara Untuk Pemberdayaan Ekonomi Masyarakat Sekitar Tambang Batubara Kabupaten Banjar. Penelitian ini dilakukan oleh Annisa annisa, Agus Triantoro, dan Rizal Maulanai pada tahun 2020. Dari penelitian ini diketahui bahwa Briket batubara digunakan sebagai bahan bakar industri menggantikan sebagian dari kegunaan minyak tanah seperti untuk pengolahan makanan, pengeringan, pembakaran dan pemanasan. Bahan baku utama briket adalah batubara. Komposisi briket terdiri dari batubara sebagai bahan utama, Biomassa, sebagai bahan untuk mempercepat dan memudahkan proses pembakaran, Tanah Liat, sebagai bahan pengeras sekaligus perekat, Tepung kanji, sebagai bahan perekat utama dan Kapur (lime), sebagai bahan imbuhan yang digunakan untuk mengikat racun dan mengurangi

bau belerang. Artikel jurnal ini dapat di akses melalui halaman <https://snllb.ulm.ac.id/prosiding/index.php/snllb-abdimas/article/download/423/428>.

2. Pengaruh komposisi briket batubara non-karbonisasi terhadap parameter kualitas dan karakteristik pembakaran. Penelitian ini dilakukan oleh syafira dian sari, Agus Triantoro, dan riswan pada tahun 2018. Dari penelitian ini diketahui bahwa peningkatan persentase batubara di dalam briket campuran batubara, damar, dan kapur mengakibatkan peningkatan kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, karbon tertambat, dan nilai kalor. Selain itu peningkatan persentase batubara juga meningkatkan waktu nyala api, waktu bara, dan waktu pembakaran. Artikel jurnal ini dapat di akses melalui halaman https://www.researchgate.net/publication/332725365_PENGARUH_KOMPOSISI_BRIKET_BATUBARA_NON-KARBONISASI_TERHADAP_PARAMETER_KUALITAS_DAN_KARAKTERISTIK_PEMBAKARAN.

2.4 Kayu

Penggunaan kayu sebagai bahan bakar memberikan keuntungan yang lebih bila dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Keuntungan-keuntungan tersebut antara lain:

1. Ketersediaannya melimpah

Ketersediaan bahan ini pun bersifat relatif dan biasanya banyak terdapat di Indonesia karena kekayaan alamnya yang melimpah. Ini merupakan peluang bagi kita untuk mengembangkan kayu sebagai sumber energi lebih luas lagi. Sumber daya yang terbarukan (renewable resources)

2. CO₂ yang disisakan dari proses pembakaran 90% lebih sedikit daripada pembakaran dengan fosilfuel.
3. Mengandung lebih sedikit sulfur dan heavy metal.

Bahan bakar yang dihasilkan dari kayu diharapkan memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- a. Memiliki nilai kalor yang tinggi
- b. Memiliki kadar air yang cukup memungkinkan terjadinya pembakaran
- c. Memiliki rendemen yang tinggi
- d. Memiliki laju penyulutan yang cepat dan pembakaran yang stabil
- e. Ramah lingkungan

Kualitas kayu sebagai sumber energi dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu sebagai berikut :

1. Jenis spesies

Jenis spesies *hardwood* (kayu keras) dan *softwood* (kayu lunak) memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kualitas kayu sebagai sumber energi. Nilai kalor yang dihasilkan oleh *softwood* cenderung lebih tinggi daripada *hardwood*. Nilai-nilai panas pembakaran ini sedikit hubungannya dengan jenis spesies kayu dan hanya bervariasi paling besar 5 – 8%. Pohon yang tumbuh cepat dan memiliki banyak cabang cenderung memiliki energi yang tinggi. Ciri-ciri ini dapat ditemukan pada *softwood*.

2. Sistem silvikultur

Untuk meningkatkan nilai kalor pada kayu dapat ditempuh dengan menerapkan sistem silvikultur, yaitu :

- a. Pola penanaman yang diterapkan sebaiknya bersifat murni, yaitu pola penanaman tegakan hutan dengan spesies – spesies pohon yang khusus ditujukan untuk sumber energi. Spesies – spesies pohon yang dapat diusahakan antara lain *Acacia vilosa*, *A. auriculiformis*, *A. mangium*, *A. oraria*, *Eucalyptus urophylla*, *E. alba*, *E. deglupta*, *Albizia procera*, *melina* (*Gmelina arborea*), *soga* (*Adenantha spp.*). Selain itu, dapat juga digunakan jenis tanaman pagar seperti gamal (*Gliricidae immaculate*), angkana/sono kembang (*Dalbergia latifolia*), secang (*Caesalpinia sappan*), petai cina (*Leucaena glauca*), lamtoro (*L. leucocephala*) dan kaliandra (*Calliandra calothyrsus*). Tanaman pagar mampu tumbuh dari trubusan dan umumnya berdiameter kecil sehingga tidak layak untuk kayu pertukangan. Nilai kalor pada tiap-tiap spesies pohon dan batu bara disajikan pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Data nilai kalor arang kayu dan batubara

No.	Jenis spesies	Nilai kalor × 10 (kal/g)
1	Jati (<i>Tectona grandis</i>)	750 ± 7
2	Akasia (<i>Acacia spp.</i>)	740 ± 7
3	Trembesi (<i>Samanea saman</i>)	730 ± 7
4	Sono (<i>Dalbergia spp.</i>)	730 ± 7
5	Landep (<i>Barleria prionitis</i> L.)	715 ± 7
6	Mahoni (<i>Swietenia mahagoni</i>)	699 ± 7
7	Melinjo (<i>Gnetum gnemon</i>)	673 ± 6
8	Manding	666 ± 6
7	Kesambi (<i>Schleichera oleosa</i> Merr)	661 ± 6
8	Rembalo	644 ± 6
9	Tempurung kelapa (batok)	626 ± 6
10	Sengon (<i>Paraserianthes falcataria</i>)	595 ± 6
11	Batu bara hitam	550 ± 6
12	Batu bara cokelat	502 ± 6

(Sumber: Suranto, 2006)

- b. Untuk mendapatkan tegakan dengan percabangan yang banyak, maka jarak tanam harus diatur selebar mungkin. Biasanya digunakan jarak tanam 1 × 2 m. Pola – pola pemeliharaan yang disarankan, adalah :
 1. Model trubus (cabang – cabang dipangkas dan disisakan pohon pentingnya saja)
 2. Tertuju pada perlindungan terhadap penyakit, hama, dan api yang dapat mengganggu pertumbuhan tanaman sumber energi biomassa.
 3. Penjarangan dilakukan apabila diperlukan dengan intensitas rendah.
3. Umur pemanenan

Umur pohon pada saat pemanenan menentukan kualitas kayu yang dipanen. Sebaiknya pemanenan pada pohon yang sudah berumur cukup tua dan secara kimiawi telah mengalami tahap pengerasan dinding sel (lignifikasi).
4. Ekologi hutan tanaman

Ekologi hutan tanaman berhubungan dengan iklim, cuaca, curah hujan, tempat tumbuh, kesuburan tanah dan intensitas sinar matahari yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman energi.

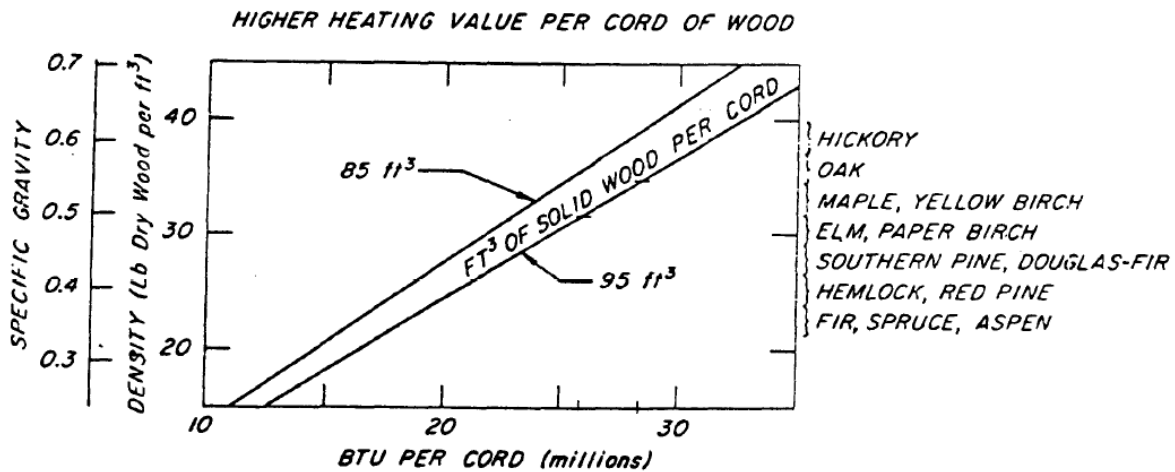
5. Bagian pohon

Ada perbedaan antara kayu bagian akar dan bagian batang terhadap kualitas kayu sebagai sumber energi. Hal ini dipengaruhi oleh sifat-sifat dasar kayu seperti sifat anatomi, fisika, dan kimia kayu yang berbeda dalam satu pohon. Salah satu faktor yang perlu dipertimbangkan dalam penggunaan kayu sebagai bahan energi adalah kecepatan tumbuh yang besar dengan sifat percabangan yang lebat.

2.4.1 Nilai Kalor Kayu

Nilai kalor atau nilai panas adalah ukuran kualitas bahan bakar dan biasanya dinyatakan dalam British Thermal Unit (BTU), yaitu jumlah panas yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu satu pound air sebesar 1°F. Nilai kalor yang dinyatakan dalam kalori berarti jumlah panas yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu 1 gram air sebesar 1°C. Nilai kalor kayu ditentukan oleh berat jenis kayu, kadar air, dan komposisi kimia kayu khususnya kadar lignin dan kadar ekstraktif.

Definisi berat jenis kayu adalah perbandingan antara kerapatan kayu yang diukur atas dasar berat kering tanur dan volume pada kandungan air yang telah ditentukan dengan kerapatan air pada suhu 4°C. Berat jenis kayu dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu dimensi serat, letak kayu awal dan kayu akhir, persentase selulosa dan lignin serta kandungan ekstraktif yang ada dalam kayu. Ada perbedaan berat jenis kayu antara *softwood* dan *hardwood*. *Softwood* dan *hardwood* bisa dibedakan secara nyata dengan melihat atau membandingkan struktur anatomi kayunya. *Softwood* tidak memperlihatkan pori atau pembuluh sedangkan *hardwood* menampilkan pori pada irisan atau bidang pengamatan kayu. *Softwood* terdiri atas lebih dari 90% trakeid sedangkan *hardwood* terdiri atas sel-sel yang lebih banyak dan kompleks, seperti pembuluh, parenkim, jari – jari, serat dan lainnya. Pada *softwood*, berat jenis kayu ditentukan oleh trakeid sedangkan pada kayu daun ditentukan oleh porsi sel yang terbanyak. Berdasarkan pernyataan di atas, dapat dikatakan bahwa *softwood* cenderung memiliki berat jenis kayu lebih tinggi daripada *hardwood*. Dalam kimia kayu, berat jenis menunjukkan jumlah lignoselulosa pada volume kayu tertentu (Prayitno, 2007).

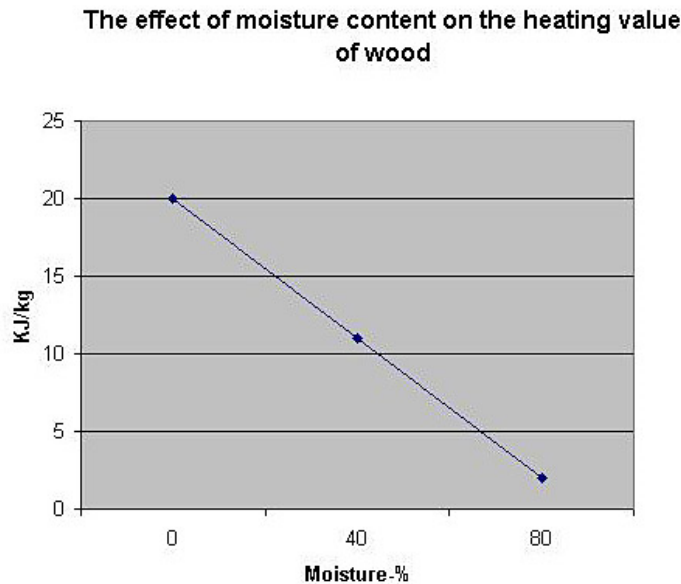


Gambar 2.22 Grafik Hubungan Antara Berat Jenis Kayu Dengan Nilai Kalor
(Sumber : Baker, 1983)

Berat jenis berpengaruh terhadap nilai kalor yang dihasilkan oleh kayu sebagai sumber energi. Dari Gambar 2.22 diketahui bahwa semakin tinggi berat jenis suatu biomassa, semakin tinggi pula nilai kalor yang dihasilkan. Dengan demikian, *softwood* cenderung memiliki nilai kalor lebih tinggi daripada *hardwood*.

2.4.2 Kadar Air

Kadar air didefinisikan sebagai banyaknya air yang terdapat pada sepotong kayu yang dinyatakan dalam persentase dari berat kering tanurnya. Kadar air kayu antarjenis sangat bervariasi bahkan dalam satu jenis pun memiliki variasi yang bermacam-macam tergantung dari perlakuan yang diterima oleh kayu. Banyaknya kandungan kadar air pada kayu bervariasi tergantung jenis kayunya, kandungan tersebut berkisar antara 40 – 300 %, dinyatakan dengan persentase dari berat kayu kering tanur. Berat kayu kering tanur dipakai sebagai dasar, karena berat ini merupakan petunjuk banyaknya zat pada kayu. Kadar air berpengaruh signifikan terhadap nilai kalor bersih. Hubungan antara kadar air dengan nilai kalor dapat dilihat pada Gambar 2.23.



Gambar 2.23 Grafik Hubungan Antara Kadar Air Dengan Nilai Kalor
(Sumber: Huhtinen, 2005)

Dari Gambar 2.23 diketahui bahwa hubungan antara kadar air dan nilai kalor berbanding terbalik. Semakin tinggi kadar air kayu maka semakin rendah nilai kalornya. Panas sesungguhnya yang dihasilkan pada pembakaran kayu basah lebih rendah daripada nilai H. Hal ini dikarenakan sebagian panas dipakai untuk mengeluarkan air dan menguapkannya. Rumus yang mendekati nilai bakar kayu yang sesungguhnya adalah :

$$BTU_{per\ pon\ kayu} = \frac{H \times 100 - \frac{Ka}{7}}{100 + Ka} \quad (2-13)$$

Dimana :

H = panas pembakaran kayu

Ka = kadar air kayu dalam persen

Nilai kalor kering udara $\pm 15\%$ lebih rendah daripada kayu kering tanur. Pengaruh kadar air dapat ditaksir dari persamaan berikut :

$$H = \frac{4500 - 600Ka}{1 + Ka} \quad (2-14)$$

Dimana :

H = nilai kalor kayu pada kadar air Ka (kkal/kg)

Ka = kadar air kayu dalam persen dari berat kayu kering tanur (dalam tangensial) atau dari hubungan persamaan berikut

$$H = Hd - (0,0114 Hd \times Ka) \quad (2-15)$$

Dimana :

H = nilai kalor kayu pada kadar air Ka (kkal/kg)

Hd = nilai panas kayu kering tanur (kkal/kg)

Ka = kadar air kayu (dalam persen dari berat basah)

Kadar air dari bahan bakar kayu bervariasi dari 20 – 65% dan dipengaruhi oleh kondisi iklim, waktu, spesies pohon, bagian batang, dan fase penyimpanan. Biasanya cukup menggunakan kadar air 40% sebagai standar ketika nilai energi per luas area diperkirakan. Kadar air sekitar 70 – 80% tidak mendukung proses pembakaran. Penguapan air memerlukan energi dari proses pembakaran (0,7 kWh atau 2,6 MJ per kilogram air) (Huhtinen, 2005).

2.4.3 Komposisi Kimia Kayu

Komponen penyusun kimia kayu memberikan nilai kalor yang berbeda, yaitu :

1. Nilai kadar holoselulosa : 7.567 BTU/lb (17.600 J/kg)
2. Nilai kadar lignin : 11.479 BTU/lb (26.700 J/kg)
3. Nilai kadar ekstraktif : 11.500 BTU/lb (26.749 J/kg)

Dari data di atas diketahui bahwa holoselulosa, lignin, dan ekstraktif memberikan kontribusi yang berbeda-beda terhadap nilai kalor, khususnya lignin dan ekstraktif memberikan nilai kalor lebih besar daripada holoselulosa. Pengaruh susunan kimia berasal dari lignin yang memiliki nilai kalor lebih tinggi (± 6.100 kkal/kg) dibandingkan dengan selulosa (4.150 – 4.350 kkal/kg). Untuk mendapatkan kayu dengan kadar lignin tinggi, dapat dilakukan upaya pemuliaan tanaman, rekayasa genetika, mengatur waktu pemanenan dimana pemanenan hanya dilakukan pada pohon yang telah mengalami tahapan pengerasan dinding sel.

Sementara itu, adanya resin dalam kayu mempengaruhi nilai kalor yang dihasilkan. Kayu yang mengandung resin memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibanding dengan kayu yang tidak beresin. Sebagai contoh, oleoresin mempunyai nilai kalor tinggi (8.500 kkal/kg). Oleh karena itu, kayu jarum (pinus) yang mengandung resin mempunyai nilai kalor yang lebih tinggi. Rata-rata kandungan kimia dari kayu energi disajikan pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12 Rata-rata kandungan kimia dalam kayu energi

Kandungan Kimia	Persentase Berat Kering (%)
Karbon	45 – 50 (11 – 15% padat, 35% volatile)
Hidrogen	6,0 – 6,5
Oksigen	38 – 42
Nitrogen	0,1 – 0,5
Sulfur	Maks. 0,05

Sumber : Huhtinen (2005)

2.4.4 Kadar Karbon Terikat dan Kadar Abu

Kadar karbon terikat berhubungan dengan nilai kalor. Semakin tinggi kadar karbon terikat maka nilai kalor semakin tinggi pula karena reaksi oksidasi akan menghasilkan kalori (reaksi eksotermis). Arang yang bermutu baik adalah arang dengan nilai kalor dan kadar karbon terikat yang tinggi namun kadar abu rendah. Kadar karbon terikat tinggi bila lebih dari 60 %. Abu berperan menurunkan mutu bahan bakar karena menurunkan nilai kalor. Salah satu unsur utama abu adalah silika, dan pengaruhnya kurang baik terhadap nilai kalor yang dihasilkan. Semakin rendah kadar abu, maka semakin baik briket arang tersebut. Kadar abu dikatakan kecil bila kurang dari 8 %. Kadar abu yang terlalu tinggi akan menyebabkan kerak pada dasar alat-alat yang digunakan dan juga kotor.

2.4.5 Briket Kayu

Briket kayu merupakan perubahan bentuk material yang pada awalnya berupa serbuk atau bubuk seukuran pasir menjadi material yang lebih besar dan mudah dalam penanganan atau penggunaannya. Perubahan ukuran material tersebut dilakukan melalui proses penggumpalan dengan penekanan dan penambahan atau tanpa penambahan bahan pengikat. Briket kayu memiliki kualitas yang baik adalah briket yang memiliki kadar air, kadar abu, kadar zat terbang yang rendah, tetapi memiliki kerapatan, nilai kalor dan suhu api atau bara yang dihasilkan tinggi. Apabila briket kayu digunakan di kalangan rumah tangga, maka hal yang penting diperhatikan adalah kadar zat terbang dan kadar abu yang rendah. Hal ini dikarenakan untuk mencegah polusi udara yang ditimbulkan dari asap pembakaran yang dihasilkan serta untuk memudahkan dalam penanganan ketika proses pembakaran selesai. Penelitian terkait dengan briket kayu telah banyak dilakukan, seperti:

1. Analisis Kualitas Briket Serbuk Gergaji Kayu Dengan Penambahan Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Bakar Alternatif. Penelitian ini dilakukan oleh Asri Saleh, Iin Novianty,

Suci Murni, A. Nurrahma pada tahun 2017. Dari penelitian ini diketahui bahwa Penambahan tempurung kelapa mampu meningkatkan kualitas briket arang serbuk gergaji kayu yang dihasilkan. Nilai kalor terendah dihasilkan pada briket dengan bahan serbuk gergaji 100% tanpa penambahan tempurung kelapa yaitu 5622,77 kal/gram dan nilai kalor tertinggi terdapat pada konsentrasi campuran serbuk gergaji kayu dan tempurung kelapa (40:60)% yaitu 7386,48 kal/gram. Artikel jurnal ini dapat di akses melalui halaman <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/al-kimia/article/view/2845>.

2. Alih Teknologi Pembuatan Briket Serbuk Kayu Gergaji Sebagai Energi Alternatif Pada Industri Ketupat Di Banjarmasin. Penelitian ini dilakukan oleh Irwansyah, Akhmad Syarief, Pathur Razi Ansyah pada tahun 2022. Dari penelitian ini diketahui bahwa briket serbuk kayu gergaji menjadi solusi pengelolaan limbah sampah organik yang sejalan dengan pemerintah daerah untuk mewujudkan lingkungan yang baik di masa depan. Lebih jauh lagi, terdapat potensi lapangan kerja baru sebagai distributor briket serbuk gergaji kayu skala kecil menengah untuk pelaku usaha. Artikel jurnal ini dapat di akses melalui halaman <https://snllb.ulm.ac.id/prosiding/index.php/snllb-abdimas/article/view/649>.

BAB III PELLET KAYU

3.1 Sejarah Pellet Kayu

Pellet kayu/pellet energi adalah bahan bakar nabati yang terbuat dari bahan organik atau biomassa yang terkompresi. Menilik dari sejarahnya, produksi pellet kayu/pellet energi di dunia, tepatnya di Eropa dan Amerika Utara dimulai dan dilatarbelakangi oleh terjadinya krisis minyak bumi yang terjadi pada tahun 1973 hingga 1979. Sejak saat itu beragam jenis dan bentuk pengemasan pellet kayu/pellet energi dengan mudah dapat kita jumpai dipasaran energi.



Gambar 3.1 Beragam Produk Pellet Kayu/Pellet Energi Di Pasar Dunia
(Sumber: Amirta, 2018)

Pada saat itu, teknologi yang digunakan untuk memproduksi pellet pakan ternak telah dimodifikasi untuk mengakomodasi material kayu dan biomassa lainnya yang lebih padat. Salah satu penggerak awal industri ini di Eropa adalah Swedia, karena industri perkayuannya yang terkemuka, serta keinginan negara ini untuk meningkatkan kemandirian energi dan komitmennya terhadap pelestarian lingkungan.



Gambar 3.2 Penampakan Salah Satu Pabrik Pellet Kayu/Pellet Energi di Swedia
(Sumber: Amirta, 2018)

Perencanaan produksi pellet kayu/pellet energi di Swedia dimulai pada akhir tahun 1970 dengan keputusan pemerintahnya untuk membangun pabrik pellet kayu pertama mereka di Mora. Pabrik tersebut mulai memproduksi pada bulan November 1982 dan segera setelah mulai beroperasi, industri ini mengalami masalah karena biaya produksinya yang dinilai jauh lebih tinggi daripada yang telah direncanakan dan diperkirakan sebelumnya. Pada awal pengembangannya, bahan baku yang digunakan adalah kulit kayu. Karenanya wajar jika pada saat itu pellet kayu/pellet energi yang dihasilkan masih memiliki kadar abu yang cukup tinggi, yaitu berkisar 2,5% hingga 17%. Sangat berbeda dengan produk pellet kayu/pellet energi yang kita gunakan saat ini.



Gambar 3.3 Penggunaan Kulit Kayu Sebagai Bahan Baku Pellet
(Sumber: Amirta, 2018)

Selain menggunakan kulit kayu sebagai bahan baku, di periode awal produksinya tersebut pemerintah dan kalangan industri di Swedia secara bersamaan juga mengembangkan teknologi pembakaran (boiler) berbahan baku pellet kayu/pellet energi. Peralatan dan teknologi ini dikembangkan untuk mengkonversi boiler minyak ke boiler berbahan bakar pellet. Namun sayangnya, pengembangan teknologi ini dirasakan kurang berhasil. Teknologi konversi yang dikembangkan pada saat itu tidak mampu memenuhi harapan masyarakat karena tingkat efisiensinya yang dinilai masih rendah.

Hal ini turut diperparah dengan masih buruknya kualitas pellet yang dihasilkan. Bertitik tolak dari situasi tersebut, pemerintah Swedia dan dunia usahanya kembali berusaha melakukan berbagai evaluasi dan perbaikan menyeluruh yang memungkinkan diperolehnya hasil capaian dan kualitas pellet kayu yang berbeda. Hasilnya sangat baik, menandai hal tersebut pada tahun 1987 pabrik dengan teknologi proses menggunakan bahan pelletizing kering telah dibangun di Kil. Pabrik baru ini dibangun untuk menghasilkan 3.000 metrik ton pellet kayu/pellet energi (*wood pellet*) per tahun dengan pendekatan teknologi proses produksi yang lebih baik. Hingga saat ini pabrik tersebut masih beroperasi dan merupakan pabrik pellet kayu/pellet energi komersial tertua yang ada di Swedia dan juga dunia.

Setelah dirasakan mampu mengatasi kendala teknologi dan mendapatkan efisiensi yang lebih baik dari pemanfaatan pellet kayu/pellet energi sebagai alternatif energi pengganti minyak (energi fosil), pada awal 1990-an, pemerintah Swedia mengajukan proposal untuk mulai memberlakukan pajak bagi penggunaan bahan bakar mineral (fosil). Pada saat itu pemerintah Swedia juga membatasi emisi karbon dioksida. Dalam waktu singkat, prospek pembakaran bahan bakar fosil menjadi tidak menguntungkan karena biofuel masuk untuk mengisi kekosongan suplai energi. Ini menandai titik balik dan penggunaan pellet kayu/pellet energi yang mulai tumbuh dengan cepat, hingga saat ini.



Gambar 3.4 Dasar Pemikiran Pengembangan Industri Pellet Kayu/Pellet Energi Sebagai Sumber Energi Hijau Terbarukan

(Sumber: Amirta, 2018)

Program energi bersih yang sama dan tidak kalah ambisiusnya juga muncul di tempat lain di Eropa dan Amerika. Akibatnya, Eropa memimpin dunia dalam konsumsi pellet biomassa hingga hari ini. Tingkat kecanggihannya pun telah meningkat di benua itu sedemikian rupa sehingga pellet yang diproduksi dapat dikirimkan dalam jumlah besar melalui truk dan kapal tangker dan ditempatkan/disalurkan secara langsung ke area penyimpanan di lokasi-lokasi perumahan, mirip dengan cara pompa bensin yang diisi kembali dengan bensin. Selain untuk keperluan pemanasan/penghangat bagi perumahan, pembangkit listrik Eropa semakin banyak menggunakan pellet biomassa untuk menghasilkan listrik serta untuk energi dalam aplikasi industri lainnya.

Tidak hanya di Swedia dan juga negara-negara Eropa, pada saat yang hampir bersamaan penggunaan pellet kayu/pellet energi sebagai sumber energi juga mulai dikenal luas dan dikembangkan di wilayah Asia. Jepang misalnya, di negara matahari terbit ini produk pellet kayu/pellet energi mulai dikenal luas dan digunakan setelah krisis minyak terjadi di Eropa dan Amerika Utara. Produksi pellet kayu/pellet energi Jepang secara komersil mulai memasuki era industri besar dan masif pada tahun 1982, dan produksinya dari tahun ke tahun terus meningkat. Setidaknya pada periode waktu tersebut terdapat sekitar 30 pabrik atau industri yang beroperasi di Jepang dengan jumlah total produksi pellet kayu/pellet energi mencapai 27.722 ton.

Namun situasi ini pun tidak berjalan selamanya, seiring dengan menurunnya harga minyak, pellet kayu/pellet energi dirasakan kurang mampu bersaing dari sisi ekonomi. Daya saing dan keuntungan yang sebelumnya diperoleh oleh kalangan industri menurun, sebagai akibatnya perlahan kejayaan industri inipun meredup. Situasi yang sama juga terjadi di negara-negara Eropa pada dekade tersebut. Kondisi ini diperburuk dengan belum berkembangnya teknologi pembakaran pellet kayu/pellet energi (boiler) secara sempurna pada saat itu. Sama halnya dengan yang terjadi di Swedia, seiring dengan perubahan kemampuan produksi energi dunia, produksi pellet kayu/pellet energi kembali meningkat dan menemukan performanya di era tahun 90-an.

Kebangkitan ini dilatarbelakangi oleh keinginan luhur berorientasi jangka panjang dari beberapa negara tersebut untuk mulai menggunakan sumber energi hijau (*green energy*). Hal ini didukung oleh kebijakan mereka berupa pajak hijau, yang diterjemahkan melalui pemberian insentif peralatan dan pendidikan secara lebih luas kepada masyarakat akan pentingnya hal ini. Kebijakan ini dirasa sangat penting dan strategis dilakukan untuk meredam dan menanggulangi ancaman pemanasan global, keamanan energi dan kenaikan harga minyak yang terus terjadi hingga saat ini, dan ternyata hal itu terbukti telah berdampak

baik bagi kehidupan mereka. Misalnya, pellet kayu/pellet energi mampu menggantikan peran pemanas listrik dan minyak tanah yang sebelumnya banyak digunakan masyarakat Eropa.

Bahkan saat ini pasar pellet kayu/pellet energi ini tumbuh dengan cepat oleh citra hijau dan basis keuntungannya dalam harga, dan itu jelas dapat dilihat dalam perdagangan bahan bakar pellet kayu/pellet energi dunia. Saat ini, bahan bakar pellet kayu/pellet energi berada dalam persaingan harga yang ketat dengan minyak tanah dan gas alam di banyak negara. Tetapi permintaannya terus meningkat karena keuntungan lainnya seperti kepedulian lingkungan, kualitas tinggi dan kemudahannya untuk diperoleh dan digunakan.

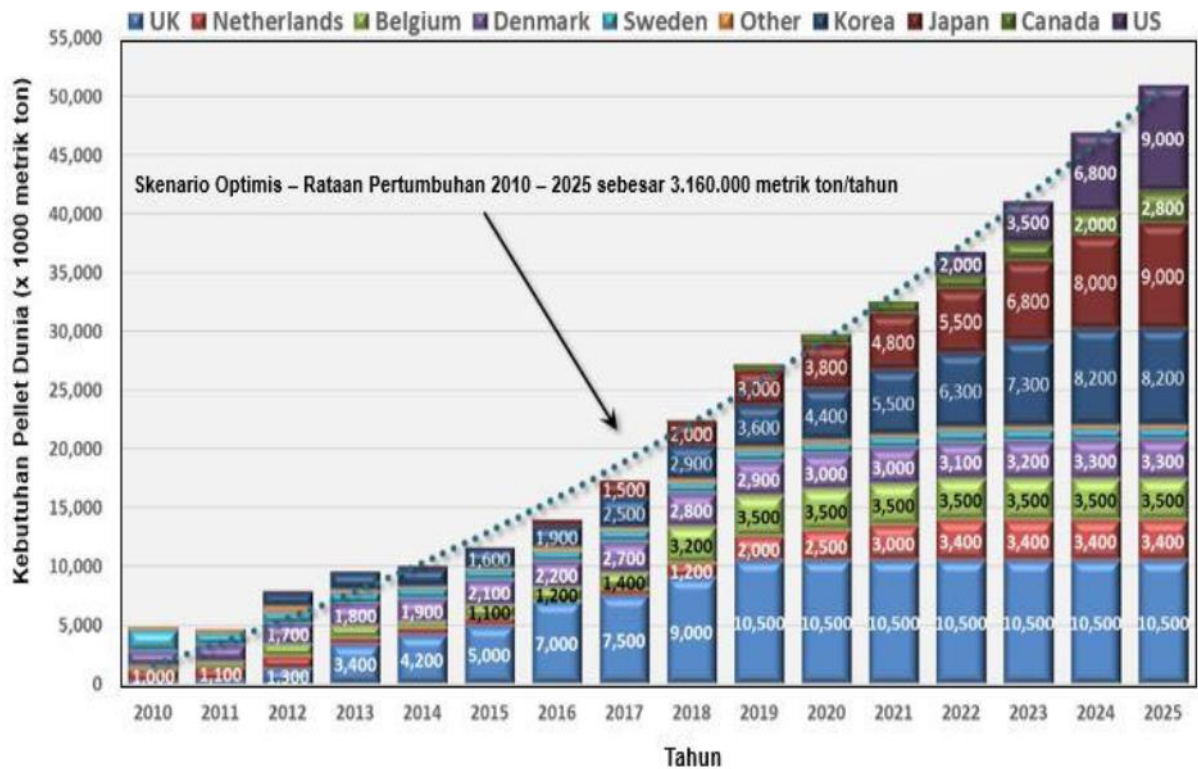
3.2 Pertumbuhan Permintaan Pellet Kayu Di Dunia

Untuk kita pahami bersama bahwa pada prinsipnya pasar pellet kayu/pellet energi dunia diarahkan oleh dua kebutuhan penggunaan sektor utama, yaitu pellet industri yang diproduksi dan digunakan sebagai pengganti batubara di pembangkit listrik, dan pellet premium yang digunakan pada pengoperasian kompor pellet dan pellet boiler untuk pemanas ruangan. Pasar pellet kayu/pellet energi global tersebut, baik sektor pemanas maupun industri telah mengalami pertumbuhan yang sangat signifikan dalam dekade terakhir. Data tingkat pertumbuhannya selama empat tahun terakhir adalah sekitar 10% per tahun, dari sekitar 19,5 juta metrik ton pada tahun 2012 menjadi sekitar 28 juta metrik ton pada tahun 2015 (Gambar 3.5).

Untuk wilayah Eropa sendiri pada tahun 2015 berhasil mencatatkan jumlah produksi pellet kayu/pellet energi hingga sebesar 14,1 juta ton, sementara konsumsi atau tingkat penggunaannya mencapai 20,3 juta ton yang berarti masih memiliki kekurangan pasokan sebesar 6,2 juta ton. Kebutuhan yang besar ini juga ditandai dengan tingkat penggunaannya terutama untuk memenuhi kebutuhan sektor pemanas yang jumlahnya mencapai 10,3 juta ton, atau setara dengan 51% dari total konsumsi. Dimana jumlah ini mengalahkan penggunaan pellet untuk industri seperti kebutuhan pembangkit listrik. Saat ini data yang kita miliki juga mencatat bahwa untuk wilayah Eropa ada enam negara yang secara dominan memainkan peran penting sebagai produsen pellet kayu/pellet energi berbahan baku biomassa ini. Enam negara produsen pellet terbesar di Eropa yakni, Jerman (2 juta ton), Swedia (1,7 juta ton), Latvia (1,6 juta ton), Estonia (1,3 juta ton), Austria (1 juta ton) dan Prancis (1 juta ton). Sedangkan negara-negara di Eropa yang tercatat sebagai konsumen utama dari pellet yang dihasilkan tersebut untuk memenuhi kebutuhan sektor pemanas mereka adalah: Italia (3,1 juta ton), Jerman (2,3 juta ton), Denmark (1,8 juta ton), Swedia (1,6 juta ton), Prancis (1 juta ton), dan Austria (0,9 juta ton).

Selain di Eropa, pertumbuhan tingkat produksi pellet kayu/pellet energi yang cenderung terus meningkat ini juga terjadi di Inggris dan Amerika. Peningkatan tersebut terutama di dorong oleh pertumbuhan permintaan pellet kayu/pellet energi khususnya yang datang dari proyek-proyek pembangunan pembangkit listrik baru di beberapa negara maju, seperti halnya kedua negara tersebut. Permintaan di kedua negara ini diperkirakan akan terus meningkat hingga tahun 2020-2025 mendatang. Pasar pellet energi industri saat ini tumbuh sangat baik. Grafik atau penggambaran di bawah ini (Gambar 3.5) akan menunjukkan pertumbuhan permintaan aktual akan produk pellet kayu/pellet energi industri di dunia pada periode 2010-2025. Dimana pada kurun waktu tersebut diperkirakan permintaan akan suplai pellet kayu/pellet energi untuk kebutuhan industri akan tumbuh cukup tinggi dengan tingkat kebutuhan sebesar 3.160.000 metrik ton pada setiap tahunnya. Lebih dari itu, kebutuhan dari sektor industri ini pada tahun 2025 diperkirakan akan tumbuh dan meningkat hingga lebih dari 50.000.000 metrik ton per tahun. Jumlah yang sangat besar jika dibandingkan dengan tingkat serapan atau penggunaan pellet kayu/pellet energi pada saat ini yang masih relatif rendah dikisaran 20.000.000 – 25.000.000 metrik ton per tahun. Tentu ini sebuah tantangan dan juga peluang yang harus dicermati dengan seksama bagi masa depan.

Ada perbedaan yang sangat signifikan diantara Kanada, Amerika Serikat dan Eropa dalam kebijakan produksi dan konsumsi pellet energi mereka. Kanada, selain dikenal sebagai negara pengguna pellet kayu/pellet energi untuk keperluan domestiknya, namun juga secara paralel mengekspor sebagian besar produk pellet mereka untuk negara lain. Sementara itu Amerika lebih banyak menggunakan pellet kayu untuk keperluan dalam negerinya. Di Amerika Serikat, sebagian besar pellet dikemas dan dipasarkan untuk keperluan domestiknya seperti untuk penghara kompor pellet.

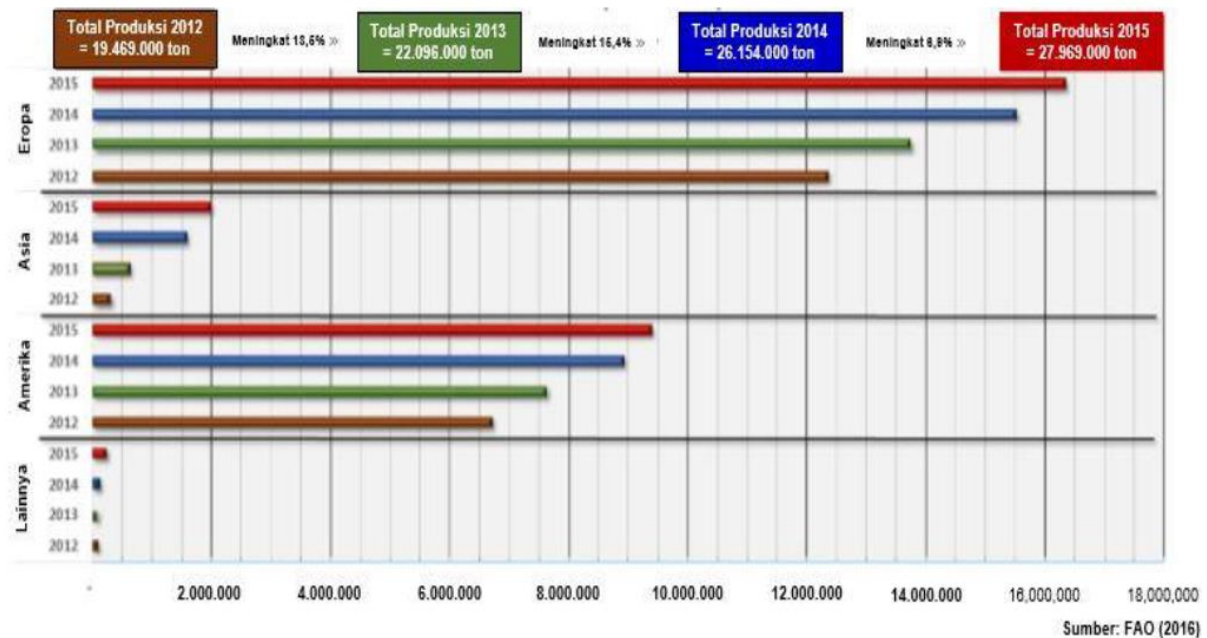


Gambar 3.5 Perkiraan Pertumbuhan Permintaan Pellet Kayu/Pellet Energi Industri Dunia Hingga Tahun 2025

(Sumber: Strauss W, 2017)

Namun demikian bukan berarti Amerika juga tidak melakukan ekspor untuk produk energi yang mereka miliki ini. Sebagaimana dapat kita lihat pada Gambar 3.6, jelas dapat kita cermati peta distribusi atau sebaran produksi dan ekspor pellet kayu/pellet energi dari Amerika ke beberapa negara di Eropa. Hal ini tidak lepas dari masih tingginya kebutuhan pellet kayu yang datang dari negara-negara Eropa tersebut. Mereka masih membutuhkan pellet kayu dalam jumlah yang besar dari negara-negara lain. Pasar pellet di seluruh dunia (terutama Uni Eropa) memiliki kecenderungan kenaikan yang terus-menerus. Situasi yang hampir sama juga dialami oleh Kanada. Kanada juga mengekspor pellet kayu yang dihasilkannya dari serbuk gergaji dan serutan kayu ke negara-negara Eropa disekitarnya seperti Swedia dan Denmark. Dapat kita katakan bahwa industri pellet biomassa telah mendapatkan momentum yang cepat untuk terus tumbuh dan berkembang selama dekade terakhir.

Tidak hanya itu, salah satu laporan yang ada juga menyebutkan bahwa Amerika Serikat dan Swedia saat ini mendapatkan sekitar 4 dan 13% energi mereka dari biomassa. Untuk memperkuat hal itu Swedia bahkan telah melaksanakan sebuah program inisiatif untuk menghentikan pembangkit listrik tenaga nuklir yang sebelumnya banyak digunakan di negara ini, serta mulai mengurangi penggunaan energi berbahan bakar fosil dan meningkatkan penggunaan bioenergi.

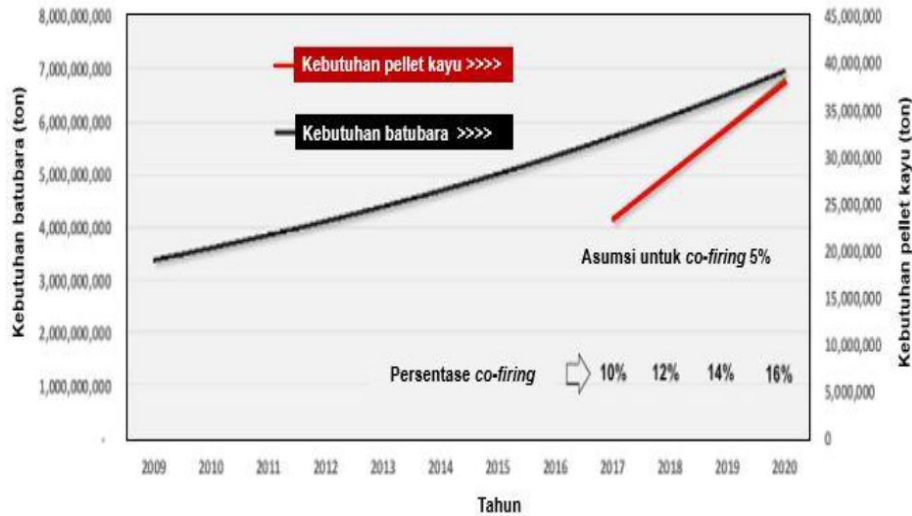


Gambar 3.8 Tingkat Produksi Pellet Kayu/Pellet Energi Dunia (2012-2015)

(Sumber: Amirta, 2018)

Selain meningkatnya permintaan pellet dari negara-negara Eropa dan Amerika, pertumbuhan permintaan dari negara-negara di kawasan di Asia, khususnya Jepang, Korea Selatan dan China diperkirakan juga akan terus meningkat dengan kecenderungan yang sama. Khusus untuk China, peningkatan tingkat produksi dan kebutuhan akan pellet kayu/pellet energi di negara ini lebih didorong oleh kebijakan yang secara khusus telah dikeluarkan oleh pemerintah. Pemerintah negara tirai bambu memiliki rencana lima tahunan untuk periode 2016-2020 yang secara implisit memberikan dukungan pada pengembangan produksi dan penggunaan pellet kayu/pellet energi sebagai salah satu sumber energi terbarukan andalan mereka. Mencermati hal tersebut, diperkirakan kebutuhan China akan pellet kayu/pellet energi akan sangatlah besar, terlebih jika mempertimbangkan praktek penyediaan energi dengan metode *co-firing* atau pencampuran antara batu bara dan pellet kayu yang saat ini dilakukan di negara ini dengan sangat intensif pada pembangkit-pembangkit listrik disana. Setidaknya diperkirakan jika kebijakan *co-firing* pada pembangkit-pembangkit listrik ini

dilakukan, walau hanya dengan tingkat penggunaan pellet kayu/pellet energi sebesar 16% saja, maka dapat disimpulkan akan ada kebutuhan pellet kayu/pellet energi hingga sebesar 40.000.000 ton pada setiap tahunnya. Jumlah yang sangat besar dan fantastik untuk sebuah skala produksi komersil yang dapat direncanakan dan dibangun di suatu negara.

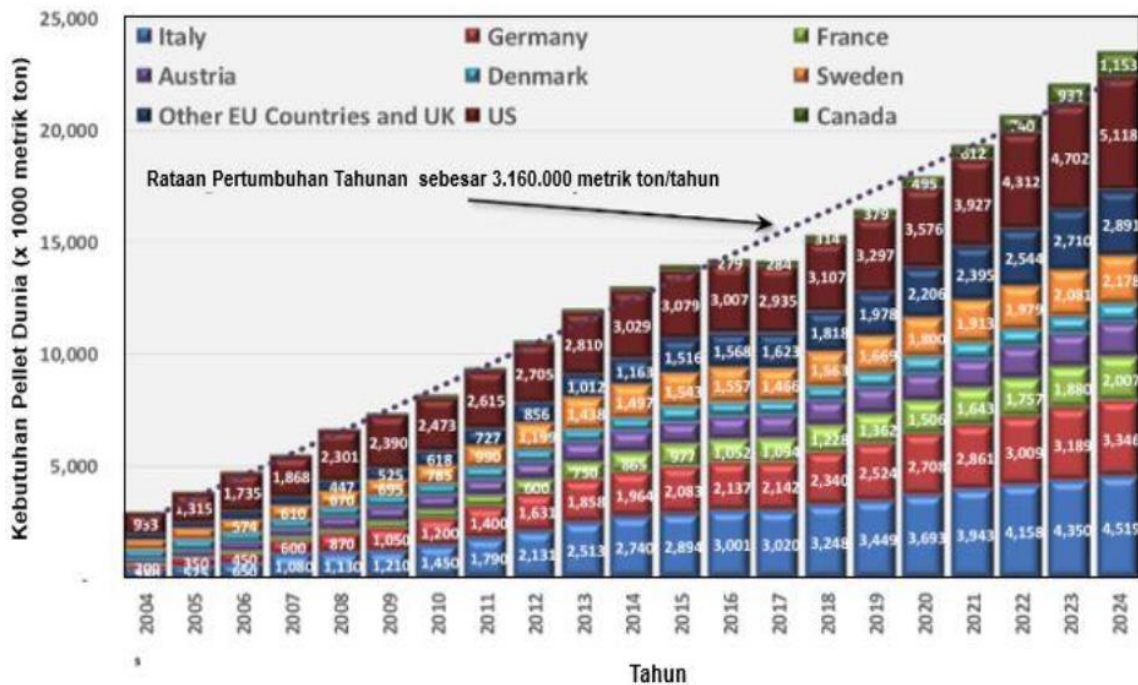


Gambar 3.9 Perkiraan Kebutuhan Pellet Kayu/Pellet Energi Untuk Pengembangan Program *Co-Firing* Di Negara China Hingga Tahun 2020

(Sumber: Strauss, 2017)

Merespon tingkat kebutuhan yang tinggi tersebut, pemerintah China berencana untuk memenuhinya dengan mengoptimalkan potensi biomassa dari residu pertanian yang jumlahnya sangat besar dan tidak terbatas. Pemerintah negara ini sepenuhnya menyadari bahwa sumber daya hutan yang mereka memiliki sangat terbatas untuk dimanfaatkan dalam memproduksi pellet kayu/pellet energi secara masif dan dalam skala komersil yang sangat besar tersebut. Tren peningkatan kebutuhan akan permintaan produk pellet kayu/pellet energi untuk memenuhi kebutuhan sektor industri juga ditunjukkan oleh Kanada. Di negara yang bertetangga dengan Amerika ini, potensi peningkatan konsumsi produk energi ini telah dipicu oleh adanya kebijakan yang terkait dengan upaya dekarbonisasi (pengurangan penggunaan bahan bakar fosil) pada sektor industri dari pemerintah federal Kanada, khususnya di provinsi-provinsi seperti Alberta.

Sekali lagi, kita melihat bagaimana komitmen yang tinggi dari pemerintah pada negara-negara yang telah maju untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan secara beriringan mendorong tumbuh kembangnya produksi dan penggunaan bahan bakar yang bersumber dari tanaman (terbarukan) seperti halnya pellet kayu/pellet energi ini.



Gambar 3.10 Perkiraan Pertumbuhan Kebutuhan Pellet Kayu/Pellet Energi Dunia Untuk Sektor Domestik (Pemanas Rumah Tangga Dan Sektor Komersil) Pada Periode 2004-2024 (Sumber: Strauss, 2017)

Walau tidak sebesar kebutuhan yang dicatatkan dari sektor industri, data yang saat ini dimiliki juga menunjukkan bahwa pemanfaatan domestik dari pellet kayu/pellet energi untuk kebutuhan pemanas ruangan (*residential heating system*) pada kawasan pemukiman juga mengalami peningkatan. Lembaga survey Future Metriks yang mengkhususkan kerja mereka pada usaha penaksiran/peramalan tingkat produksi dan konsumsi produk pellet kayu/pellet energi dunia melaporkan bahwa kebutuhan pellet kayu/pellet energi dari sektor ini akan mengalami pertumbuhan hingga 963.000 metrik ton pada setiap tahunnya (Gambar 3.10).

3.3 Peran Dan Status Indonesia Dalam Produksi Dan Penggunaan Pellet Kayu/Pellet Energi Di Dunia

Dengan dukungan faktor iklim tropis, curah hujan tinggi, tanah subur, lokasi geografis yang cukup dekat dengan Jepang, Korea Selatan dan China serta tersedianya kawasan hutan tanaman industri dan perkebunan yang mencakup sekitar 80 juta hektar, polikultur dengan perkebunan kelapa sawit, serta ketersediaan lahan marjinal yang dapat digunakan untuk hutan tanaman energi, Indonesia diyakini memiliki potensi yang cukup baik untuk menjadi salah satu pemain utama dari industri pellet kayu di dunia. Ketersediaan biomassa yang melimpah merupakan faktor kunci yang harus benar-benar diperhatikan, dikelola dan dimanfaatkan

untuk mewujudkan ide besar ini. Hutan tanaman atau kebun energi menjadi sangat penting untuk dikembangkan guna menjamin pasokan bahan baku untuk produksi pellet kayu berskala besar dan stabil untuk jangka waktu yang panjang. Selain itu Indonesia juga dikenal sebagai produsen CPO atau minyak kelapa sawit terbesar dengan produksi 23 juta ton/tahun. Produksi CPO berskala dunia ini tentu saja menyisakan limbah biomassa yang sangat besar untuk dimanfaatkan lebih jauh sebagai bahan baku pellet kayu/pellet energi. Demikian pula hutan tanaman industri (HTI, utamanya untuk produksi serat) yang jumlahnya mencapai jutaan hektar, sebagian areal dan produksinya juga dapat dialokasikan untuk produksi bahan baku energi. Hal ini dimungkinkan mengingat beberapa jenis kayu HTI yang dikembangkan di Indonesia, seperti Acasia dan Eucalyptus juga diketahui memiliki kesesuaian pemanfaatan yang baik sebagai bahan baku pellet kayu/pellet energi maupun digunakan secara langsung sebagai sumber energi dalam bentuk chip kayu (Amirta, 2018).

Apakah Indonesia juga akan mulus dan bebas hambatan untuk menjadi salah satu negara produsen pellet kayu terbesar di dunia? Jawabannya tentu saja tidak sesederhana itu. Negara-negara produsen pellet kayu yang besar seperti Kanada yang kaya akan biomassa kayu dari sektor kehutanan juga tidak akan tinggal diam dan mencoba untuk merebut serta memimpin pasar pellet kayu dunia. Bahkan Kanada telah menargetkan Eropa dan Asia sebagai pasar pellet kayu mereka. Produksi pellet kayu dari wilayah Kanada barat yang dipersiapkan untuk memenuhi pasar Jepang dan Korea serta produksi dari bagian timur untuk memenuhi kebutuhan pasar Eropa. Sementara itu, kebijakan domestik juga membutuhkan pellet kayu karena kesepakatan iklim pan-Kanada menargetkan pembangkit listrik yang bebas batubara pada tahun 2030.

Lebih lanjut untuk kita bahas bersama, Eropa masih merupakan tujuan pasar paling penting untuk ekspor pellet kayu dari Kanada, jumlahnya mencapai 80% dari total volume ekspor pellet kayu mereka. Hampir semuanya untuk memenuhi kebutuhan sektor industri listrik, yaitu di Inggris, Belgia dan Belanda serta hanya sedikit untuk sektor pemanas di Italia. Melihat peluang kurangnya pasokan pellet kayu di Eropa, beberapa negara lainnya juga mulai mendorong industrinya untuk muncul sebagai produsen pellet kayu pada tahun 2016, seperti halnya Ukraina dengan skala produksi 360 ribu ton (ditambah 1 juta ton bahan pellet yang terbuat dari limbah pertanian seperti jerami dari gandum, kulit bunga matahari), Serbia (250 ribu ton), Kroasia (232 ribu ton), dan Slovenia (110 ribu ton). Estonia dan Latvia. Dua negara kecil di Eropa ini juga mulai menjadi saingan bagi Kanada.

Setelah melihat geliat tumbuh kembangnya industri dan peningkatan produksi pellet kayu di beberapa negara Eropa dan juga Asia, tentu timbul pertanyaan: bagaimana dengan

tingkat kemampuan produksi pellet kayu/pellet energi dari Indonesia? Produksi pellet kayu di Indonesia hingga saat ini masih relatif kecil, hanya sekitar sekitar 80.000 ton per tahun. Sementara Malaysia memiliki lebih dari 180 ribu ton per tahun, dimana sebagian besar produksi pellet kayu/pellet energi mereka ditujukan untuk pasar Korea (70%). Sedangkan ekspor ke Jepang masih sangat kecil. Untuk dapat berperan dan berproduksi dengan lebih besar, Indonesia dan Malaysia harus memperhatikan beberapa hal penting yang umumnya dilakukan oleh negara-negara produsen, yaitu: (1) kedua negara harus mampu menunjukkan bukti keberlanjutan (kepastian suplai), (2) kualitas, (3) kekuatan dan keandalan keuangan, dan (4) harga yang kompetitif.

Industri pellet kayu berskala besar masih perlu kita kembangkan guna memenuhi peluang dan ruang pasar yang ada, baik untuk memenuhi kebutuhan Asia maupun Eropa dan Amerika. Selain itu industri ini juga perlu kita bangun untuk memenuhi kebutuhan pasar energi nasional. Beberapa permintaan dari dalam negeri tercatat berasal dari perusahaan-perusahaan atau industri pengolahan pangan dan komestik yang memerlukan bahan bakar pengganti batubara dalam proses pengeringan komoditasnya. Beberapa permintaan tersebut seperti yang berasal dari industri makanan yang berlokasi di Gresik, Jawa Timur hingga PTPN 8 yang berlokasi di Pangalengan, Bandung Selatan. Tidak hanya itu, permintaan pellet kayu juga datang dari beberapa industri pengolahan pangan (makanan ringan) yang berlokasi di pulau Kalimantan. Dalam hal ini, pasokan bahan bakar berupa pellet kayu dibutuhkan dan digunakan sebagai bahan bakar dalam proses pengeringan daun teh, keripik kentang, keripik singkong, kacang kulit, beragam jenis bumbu siap saji dan beragam produk olahan pangan lainnya yang menjadi bisnis utama mereka.



Gambar 3.11 Beberapa Nama Produsen Pellet Energi Di Indonesia
(Sumber: Amirta, 2018)

Sejauh ini ada beberapa inisiasi industri pellet kayu/pellet energi yang telah beroperasi dan berproduksi di Indonesia. Beberapa perusahaan tersebut berada di pulau Jawa, namun ada pula yang berlokasi di Kalimantan Timur guna mendekati sumber bahan baku kayunya.

Beberapa perusahaan pellet kayu/pellet energi tersebut adalah PT. Kyongdo Mineral, PT. Pellet Biomassa Indonesia, PT. Samida Indo Prawira, dan PT. Jhonlin Agro Mandiri. Selain itu ada pula pabrik Gerbang Lestari yang mengolah kayu kaliandra menjadi pellet kayu.

Pabrik pellet kayu ini dikelola oleh kelompok masyarakat dan pesantren di Desa Geger, Bangkalan, Madura yang mendapatkan bantuan hibah pendanaan dari program Indonesia Climate Change Trust Fund (ICCTF) dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) untuk pendirian pabrik dan kegiatan produksinya. Kegiatan produksi dan inisiasi ini kemudian lebih jauh sering kita kenal sebagai implementasi dari program Green Madura - ICCTF. Ada juga sejumlah produsen pellet kayu di Asia, khususnya di Asia Tenggara seperti halnya Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Vietnam. Lahan di Indonesia dan berbagai kondisi yang mendukungnya membuat potensi untuk menjadi pemimpin dalam memproduksi pellet kayu di Asia Tenggara sangatlah besar. Faktor lain adalah masih rendahnya target pemerintah Indonesia untuk menggunakan energi biomassa dalam bauran energi domestiknya secara nasional yang menurut Peraturan Presiden RI Nomor 5 tahun 2006 hanya sekitar 5% hingga pada tahun 2025 nanti, sehingga mayoritas produksi pellet kayu dapat diarahkan ke pasar ekspor sangatlah besar terutama untuk memasok kebutuhan Jepang, Korea Selatan dan beberapa negara lainnya.

Namun demikian bukan berarti tidak ada faktor pendorong yang berasal dari dalam negeri. Pada dasarnya kondisi pasar energi domestik di Indonesia juga mulai mendukung tumbuh berkembangnya pasar pellet kayu untuk pemanasan dan pengeringan berbagai produk pangan untuk kalangan industri, maupun rumah tangga khususnya sebagai alternatif pengganti LPG (propane) yang banyak digunakan saat ini. Hal ini terutama dikarenakan harga pellet kayu yang diyakini jauh lebih murah, demikian pula kandungan energinya yang lebih baik. Sayangnya tidak banyak industri dan sektor usaha yang bekerja di pasar ini, terutama karena ada beberapa faktor penghalang yaitu terbatasnya pasokan pellet kayu dan kompor masak yang praktis untuk digunakan.

Bertitiktolak dari pembahasan tersebut sangat diyakini Indonesia memiliki peluang besar untuk menjadi pemain utama pellet kayu baik sebagai produsen maupun konsumen atau pengguna. Hal ini didukung oleh sejumlah kondisi alam, luas lahan dan posisi geografis. Tetapi karena tidak adanya kebijakan yang jelas untuk penggunaan bahan bakar atau sumber energi pellet kayu untuk pembangkit listrik dan kebijakan energi nasional di bawah Peraturan Presiden No. 5 tahun 2006 yang hanya menargetkan 5% untuk energi biomassa dalam bauran energi terbarukan sehingga mendorong produsen pellet kayu untuk lebih menjadikan pasar ekspor sebagai prioritas penjualan produk mereka. Selain itu hutan tanaman energi ataupun

perkebunan yang memang sejak awal direncanakan, dibangun dan dikelola untuk tujuan memproduksi bahan baku industri pellet kayu dalam jumlah besar, mampu memproduksi secara kontinyu dan berkelanjutan perlu terus dikembangkan dengan sangat serius guna memastikan kemampuan pasokan bahan baku bagi operasional industri pellet kayu/pellet energi berskala besar. Hutan dan perkebunan energi ini perlu dikembangkan diberbagai wilayah yang ada di Indonesia (Amirta, 2018).

3.4 Komposisi Kimia Biomassa Bahan Baku Pellet Energi

Bahan bakar biomassa adalah sumber energi yang berasal dari matahari yang disimpan dalam bentuk energi kimia dari konstituennya, sebagai hasil dari reaksi fotosintesis. Komponen biomassa termasuk selulosa, hemiselulosa, lignin, abu dan senyawa lainnya. Jumlah senyawa yang terdapat/terkandung dalam biomassa bervariasi tergantung pada jenis spesies, jaringan tanaman, tahap pertumbuhan dan kondisi pertumbuhannya. Tetapi umumnya, sebagian besar biomassa memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin (lignoselulosa).

Nilai kalor atau panas pembakaran adalah ukuran standar kandungan energi bahan bakar. Nilai kalori biomassa terutama bergantung pada konstituennya. Pada proses pembuatan pellet energi, kandungan komponen kimia atau komposisi kimia bahan baku ini adalah variabel utama yang berkontribusi terhadap kualitas bahan yang dipadatkan. Biomassa kayu kering terdiri dari selulosa, hemiselulosa, lignin dan abu. Oleh karena itu, nilai kalor biomassa kayu kering dapat ditentukan dari nilai kalor dan fraksi berat masing-masing komponen.

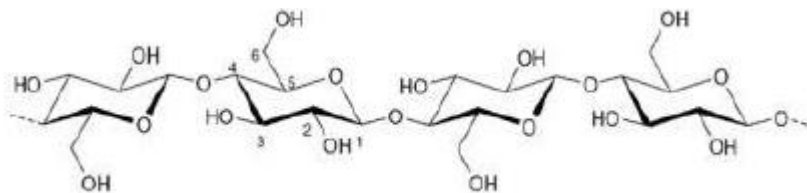
Selain komposisi tersebut, suhu dan tekanan tinggi, yang biasanya terjadi selama proses densifikasi, akan berpengaruh pada peningkatan kadar pelunakan lignin yang pada akhirnya akan meningkatkan kemampuan mengikat biomassa. Dua faktor penting yang ada pada lignin, yaitu sifat termoseting rendah dan titik leleh rendah (140°C), akan sangat membantu lignin untuk mengambil bagian dan peran aktif dalam mekanisme pengikatan ini. Berikut ini adalah penjelasan singkat akan komponen kimia utama yang ada di dalam biomassa, khususnya kayu tersebut.

3.4.1 Selulosa

Selulosa adalah bahan kimia organik yang paling melimpah di muka bumi. Selulosa merupakan polimer glukosa yang tersusun dari unit D-glucopyranose, yang dihubungkan bersama oleh ikatan β - (1 \rightarrow 4) -glucosidic. Blok bangunan penyusun selulosa adalah

pengulangan dari unit-unit selobiosa yang tersusun secara linier dan teratur dalam bentuk rantai panjang tanpa adanya percabangan (Gambar 3.12). Dijelaskan lebih lanjut oleh beberapa peneliti bahwa jumlah unit glukosa penyusun dalam molekul selulosa berkisar antara 9000-10.000, bahkan dapat mencapai 15.000 unit. Pengulangan jumlah unit glukosa ini disebut sebagai derajat polimerisasi (DP). Rata-rata selulosa kayu dilaporkan memiliki DP 10.000, dimana hal itu berarti bahwa panjang rantai linier yang dimilikinya sekitar 5 μm dalam kayu.

Ada beberapa jenis selulosa dalam kayu, yaitu kristal dan nonkristalin serta sifatnya yang dapat diakses dan tidak dapat diakses. Selulosa yang dapat diakses dan tidak dapat diakses mengacu pada ketersediaan selulosa ke air, mikroorganisme, dan sebagainya. Permukaan selulosa kristal dapat diakses tetapi sisa selulosa kristal tidak dapat diakses. Sebagian besar selulosa nonkristalin adalah dapat diakses tetapi bagian dari selulosa, yaitu noncrystalline begitu tertutup dan tidak dapat diakses. Konsep selulosa yang mudah diakses dan tidak dapat diakses sangat penting dalam penyerapan kelembaban, proses pulping, modifikasi kimia, ekstraksi, dan interaksi dengan mikroorganisme.

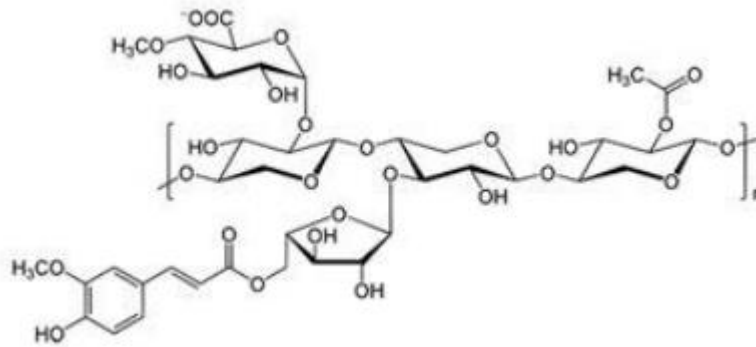


Gambar 3.12 Struktur Kimia Selulosa

(Sumber: Rowell et al, 2012)

3.4.2 Hemiselulosa

Hemiselulosa adalah hetero-polisakarida yang tersusun dari xilosa, arabinosa, dan lain-lain. Hemiselulosa dikatakan pula sebagai kombinasi banyak gula lain selain unit glukosa. Berbeda dengan selulosa yang cenderung memiliki struktur linier yang panjang dan kuat, hemiselulosa tergolong mudah untuk terpecahkan dan mudah untuk dihidrolisis. Hemiselulosa memiliki derajat polimerisasi yang pendek, yaitu sekitar 150 saja dengan bentuk ikatan yang memiliki percabangan. Struktur amorf hemiselulosa yang lemah ini adalah karena percabangan, karenanya sebagaimana disebutkan lebih awal hemiselulosa mudah untuk dihidrolisis atau dapat dilarutkan dalam larutan alkali. Beberapa peneliti percaya bahwa ikatan alami dapat terjadi karena produk degradasi perekat hemiselulosa.

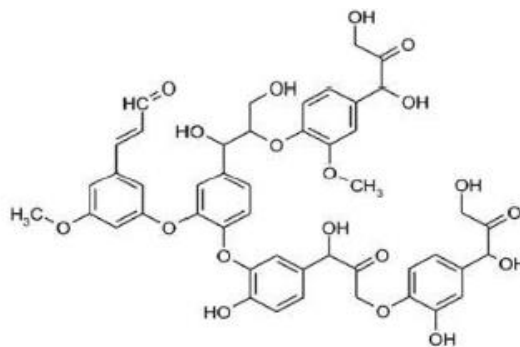


Gambar 3.13 Struktur kimia hemiselulosa

(Sumber: Rowell et al, 2012)

3.4.3 Lignin

Lignin adalah biopolimer aromatik dengan berbagai keterkaitan berdasarkan unit fenil propana. Lignin bersifat kompleks dan disintesis dari dua prekursor seperti fenilalanin dan tirosin, keduanya mengandung cincin aromatik. Dalam proses pelletisasi, ia bertindak sebagai bahan perekat pada serat selulosa. Oleh karena itu biomassa yang memiliki kandungan lignin tinggi umumnya tidak memerlukan bahan pengikat tambahan. Beberapa peneliti juga melaporkan bahwa lignin akan menunjukkan sifat termoseting pada suhu kerja $> 140^{\circ}\text{C}$, karenanya dapat dikatakan sebagai resin intrinsik dalam produksi pellet maupun papan partikel tanpa perekat (*binderless*). Karena kemampuan termosetingnya ini lignin memungkinkan untuk melakukan reaksi adhesi dalam struktur kayu dan bertindak sebagai zat penguat dan penggembur. Lebih jauh dijelaskan pula bahwa biomassa pada tingkat kelembaban sekitar 8–15% akan mengurangi suhu pelunakan lignin menjadi $100\text{--}135^{\circ}\text{C}$ dengan membentuk rantai molekul. Sifat perekat dari lignin yang diperlunak secara termal dianggap dapat berkontribusi dalam meningkatkan kekuatan pellet maupun briket yang terbuat dari bahan baku yang berlignoselulosa.

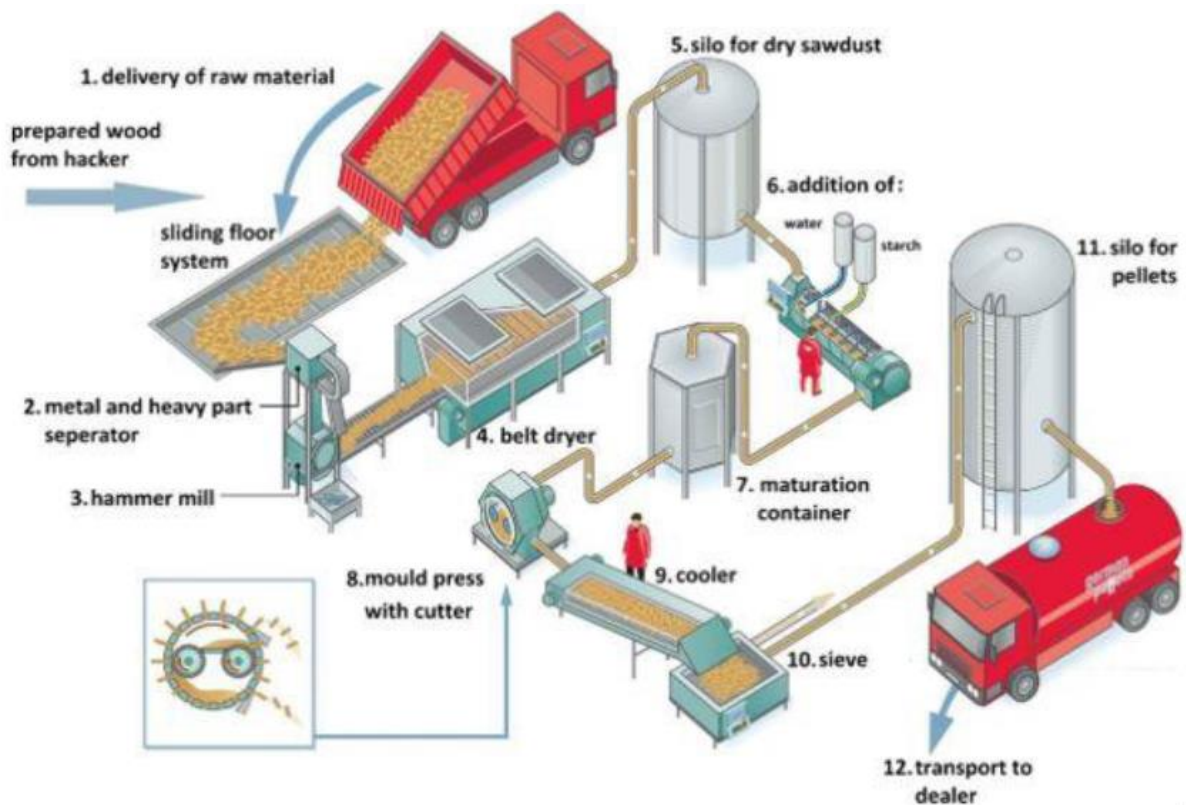


Gambar 3.14 Struktur kimia lignin

(Sumber: Rowell et al, 2012)

3.5 Teknologi Produksi Pellet Kayu/Pellet Energi

Sepintas proses pelletisasi ini tampaknya berlangsung dengan sangat sederhana, namun tidak demikian adanya pada produksi berskala komersil. Pada kegiatan produksi komersil berskala besar, proses pelletisasi telah dilakukan secara modern dengan menggunakan instrumen dan mesin-mesin yang terkontrol dengan baik dalam suatu sistem produksi yang telah terkomputerisasi sebagaimana yang dapat dilihat pada alur proses produksi (Gambar 3.15). Proses tersebut dimulai dengan suplai pasokan bahan baku ke area pabrik (industri). Biasanya proses ini dilakukan dengan menggunakan truk atau kendaraan besar sejenisnya. Truk yang penuh bahan baku akan dibawa ke area pabrik pellet pada setiap harinya. Bahan baku yang datang biasanya dalam berbagai bentuk seperti log atau kayu bulat berdiameter kecil, serpihan kayu, serbuk gergaji dan bahkan mungkin potongan pohon utuh yang masih segar. Bahan baku tersebut tentunya memiliki keragaman, baik bentuk dan kadar airnya. Ada yang masih dalam kondisi segar hingga yang telah cukup kering. Oleh karena itu biasanya, di lokasi pabrik semua bahan tersebut akan dikelompokkan dan diolah kembali hingga memiliki tingkat keseragaman awal yang sama sebelum dapat digunakan lebih lanjut (Amirta, 2018).



Gambar 3.15 Alur Proses Pada Industri Pellet Kayu/Pellet Energi Komersil

(Sumber: Amirta, 2018)



Gambar 3.16 Truk Pengangkut Material Bahan Baku Pada Industri Pellet Kayu/Pellet Energi
(Sumber: Amirta, 2018)

Penyeragaman baik ukuran partikel, kadar air hingga karakteristik antar bahan baku sangat penting dan mendasar dilakukan mengingat bahwa setiap industri dituntut untuk menghasilkan produk pellet kayu/pellet energi yang memiliki standar mutu yang baik dan terjaga secara terus menerus, dan hal itu harus lah dikondisikan dan dikontrol mulai pada tahapan awal proses produksi seperti ini. Berikut ini adalah beberapa tahapan atau skema proses yang pada umumnya digunakan oleh pabrik berskala besar untuk mendapatkan dan menjamin keseragaman mutu, baik dari bahan baku maupun produk akhir pellet kayu/pellet energi yang dihasilkan.

3.5.1 Penghancuran Biomassa (*Chipping & Milling*)

Pellet kayu/pellet energi secara umum merupakan suatu produk energi nabati (*green energy*) yang diproduksi dengan melalui proses pengempaan terhadap bahan baku kayu (biomassa). Proses pelletisasi sendiri terdiri dari beberapa tahapan yang diawali dengan pencacahan material yang berukuran besar menjadi chip atau serpih (*chipping*), pengeringan, penggilingan atau penghalusan dan pembentukan formasi pellet (*pelleting*). Proses penghancuran dilakukan untuk membentuk dan menyediakan bahan baku dengan ukuran dan luas permukaan yang sangat halus dan seragam sehingga dapat dibentuk layaknya adonan. Menurut beberapa ahli, homogenitas atau keseragaman ukuran dari partikel bahan baku ini akan berpengaruh besar pada ketahanan dari produk pellet yang dibuat. Proses penghancuran dan penggilingan (penepungan) yang dilakukan akan menyebabkan terjadinya peningkatan luas permukaan partikel yang pada akhirnya akan memfasilitasi terjadinya ikatan antar partikel kayu yang lebih baik, dimana diharapkan akan terjadi koefisien gesekan internal yang rendah antara permukaan die dan serat dalam proses pencetakan pelletnya.



Gambar 3.17 Wood Chipper Bertenaga Besar Yang Mampu Mencacah Log Menjadi Serpih Kayu
(Sumber: Amirta, 2018)

Beberapa industri/pabrik pellet memulai prosesnya dengan meletakkan potongan kayu besar melalui chipper (mesin pencacah) untuk diproses menjadi serpih kayu yang berukuran lebih kecil guna memudahkan proses penghancurannya lebih lanjut menjadi serbuk. Hal ini terutama dilakukan pada pabrik yang menerima stok bahan baku (pasokan bahan baku) dalam keadaan beragam/tercampur, baik dalam ukuran maupun jenisnya. Ada banyak konfigurasi yang berbeda untuk pabrik pembuatan pellet, dan hal itu tergantung pada sumber bahan bakunya. Hampir semua industri ini memiliki unit penghancur (hammer mill) pada awal proses penggilingan mereka. Mesin-mesin ini mampu mengolah serbuk gergaji dan serpihan kayu dan memecahnya menjadi ukuran partikel kayu/biomassa yang lebih kecil dan seragam.



Gambar 3.18 Log/Kayu Bulat, Chip (Serpih) Dan Serbuk Kayu Yang Biasa Digunakan Dalam Industri Pellet Kayu/Pellet Energi
(Sumber: Amirta, 2018)

3.5.2 Pengeringan (*Drying*)

Proses pelletisasi dipengaruhi oleh kadar air bahan baku, ukuran partikel, kepadatan, kekuatan serat, karakteristik pelumas dan bahan pengikat alami yang digunakan. Jika pabrik

pellet menggunakan bahan baku segar yang 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 ke tingkat kelembaban yang konsisten. Pengeringan diperlukan untuk mengurangi kadar air biomassa yang dalam banyak kasus melebihi nilai kadar air yang tepat dan dipersyaratkan untuk proses pelletisasi, yaitu berkisar antara 6-18%.

Untuk keperluan tersebut, biasanya bahan baku dikeringkan dengan memasukkannya ke dalam fasilitas tabung pengering (*drum dryer*). Tabung atau silinder pengering berukuran besar ini umumnya dioperasikan dengan menggunakan gas alam, propana, pembakaran serbuk gergaji, atau bahan bakar lain untuk memanaskan drum, dan menghilangkan kelembaban ekstra yang ada pada material bahan baku biomassa.



Gambar 3.19 Drum Dryer Yang Banyak Digunakan Pada Proses Pengeringan Serpih (*Chip*)
Maupun Serbuk Kayu Pada Industri Pellet Kayu/Pellet Energi
(Sumber: Amirta, 2018)

3.5.3 Pencetakan Pellet (*Pelleting*)

Setelah material bahan baku kering, selanjutnya serbuk tersebut diumpankan/dimasukkan atau dialirkan ke dalam mesin pres/kempa pencetak (*dies*). Di dalam 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). Pada tahapan ini tekanan pres/kempa yang tinggi akan menyebabkan suhu kayu meningkat, dan akan diikuti pula dengan reaksi atau proses plastisasi (pelunakan) dari lignin. Proses pelunakan lignin ini akan memungkinkan lignin membentuk "lem atau perekat" alami yang

mampu mengikat material bahan baku (serbuk biomassa) yang digunakan menjadi formasi pellet yang utuh dan kokoh pada saat dingin di akhir proses pencetakannya. Pabrik biasanya juga menentukan kerapatan pellet, diameter, daya tahan, dan panjangnya. Semua karakteristik ini sangat penting untuk operasi alat pellet yang konsisten.

Ada dua jenis pelletiser konvensional yang sejauh ini digunakan dalam industri pellet kayu/pellet energi di dunia. Kedua jenis pelletiser tersebut adalah *flat die* (tipe datar, diam/statis) dan *ring die* (tipe cincin, berputar). *Pelletiser* tipe *flat die*, bekerja dengan mekanisme dimana *die* atau cetakan yang memiliki lubang-lubang kecil ini akan diposisikan untuk tetap diam, sementara roller atau dadu penekan bahan baku akan berputar dan menekan serta menyalurkannya ke lubang-lubang cetakan tersebut hingga terbentuk silinder-silinder kecil pellet dengan ukuran yang diinginkan. Sementara itu untuk tipe pelletiser *ring die*, die atau cetakan dengan lubang-lubang kecil itu sendiri yang akan berputar mengelilingi dadu penekannya hingga pada akhirnya akan dihasilkan pellet atau silinder-silinder dengan ukuran sebagaimana yang diinginkan.



Gambar 3.20 Jenis Alat Cetak/Kempa Pada Industri Pellet Kayu (*Die*): *Flat Die* (Atas) Dan *Ring Die* (Bawah)

(Sumber: Amirta, 2018)

Selain mengetahui tipe atau jenis pelletiser yang umumnya digunakan, lebih jauh kita perlu pula memahami bahwa pada dasarnya proses pelletisasi dilakukan adalah untuk meningkatkan bulk density 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 demikian memungkinkan kita melakukan proses pengontrolan/ pengendalian yang lebih mudah dan lebih efisien selama penggunaannya pada proses pembakaran maupun gasifikasi. Dengan kata lain proses ini memungkinkan kita untuk menghasilkan konstruksi bahan bakar yang seragam dengan kerapatan curah (bulk density) yang lebih tinggi dibandingkan dengan matrik awal bahan bakunya.



Gambar 3.21 Proses Terbentuknya Formasi Pellet Kayu/Pellet Energi Pada *Pelletiser* Jenis *Ring Die*

(Sumber: Amirta, 2018)

Adapun mekanisme pengikatan (*binding mechanism*) yang secara spesifik terjadi pada proses ini menurut penjelasan dari beberapa ahli adalah sebagai berikut: Ketika tekanan tinggi diterapkan, dan partikel dipadatkan lebih jauh kemudian memaksa partikel untuk mengalami deformasi elastis dan plastik yang akan bermuara pada meningkatnya area kontak antara partikel. 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.

Beragam teori gaya ikatan dimungkinkan terjadi selama proses pelletisasi ini berlangsung. Teori gaya Van Der Waal, tekanan kapiler dan juga *interlocking* mekanik adalah beberapa teori ikatan yang mungkin berlangsung dalam proses ini. Gaya elektrostatis, magnetik dan Van Der Waal adalah penyebab gaya tarik antara partikel yang akan sangat tergantung pada ukuran partikel dan jarak antar partikel itu sendiri. Selain itu, keberadaan cairan seperti air juga akan meningkatkan kemampuan pengikatan partikel, terutama karena tekanan kapiler dan juga kekuatan antarmuka (*intersurface*) yang dimilikinya. Selama proses

pengikatan, *interlocking* serat juga terjadi, karena tekanan, partikel dibungkus dan tumpang tindih satu sama lain yang juga akan membantu proses pengikatan itu sendiri. Tidak hanya itu mekanisme pengikatan juga ditingkatkan oleh lignin. Penambahan panas pada biomassa memaksa lignin menjadi lebih lembut pada awalnya dan selanjutnya akan menunjukkan memiliki sifat termosettingnya. Proses pelletisasi sendiri tidaklah selalu harus dilakukan dalam skala besar (industri) sebagaimana yang sebelumnya telah dijelaskan. Pengempaan dan pembentukan formasi pellet dapat dilakukan dengan menggunakan alat-alat yang lebih sederhana, terutama untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga. Mesin pellet atau *pelletiser* untuk pembuatan pakan ternak dengan sumber daya yang berasal dari listrik maupun penggerak diesel yang dimodifikasi dapat digunakan untuk keperluan ini. Bahan baku berupa serbuk kayu atau biomassa lainnya dapat secara langsung digunakan ataupun dengan sebelumnya ditambahkan bahan perekat alami seperti halnya tapioka dan kanji.

Umumnya *pelletiser* sederhana ini menggunakan *flat die* yang dilengkapi dengan *rotating roller cylinder* atau dadu penekan yang akan terus berputar dalam proses pencetakan pelletnya.



Gambar 3.22 Pelletiser Atau Alat Pencetak Pellet Kayu Sederhana Dengan Penggerak Diesel
(Sumber: Amirta et al, 2018)

3.5.4 Pendinginan dan Penyimpanan (*Cooling*)

Sebagaimana kita ketahui, produk pellet kayu yang baru keluar dari proses pencetakan (*pelletisasi*) akan memiliki suhu yang tinggi berkisar antara 80-90°C dan dalam kondisi matrik produk akhir yang masih lembut. Karenanya proses pendinginan dianggap sebagai bagian yang sangat penting dalam proses akhir pelletisasi. Pendinginan pellet membuat

matrik produk mengeras yang terutama dikarenakan oleh reaksi stabilisasi dari lignin terutama pada permukaan pellet.



Gambar 3.23 Menara Pendingin (*Cooling Tower*) Pada Industri Pellet Kayu/Pellet Energi
(Sumber: Amirta, 2018)

Menara pendingin (*cooling tower*) umumnya digunakan untuk menurunkan suhu dan mengeringkan produk pellet kayu yang dihasilkan. Setelah pendinginan dan formasi pellet yang cukup keras telah terbentuk, selanjutnya pellet tersebut akan dialirkan dan disimpan di dalam sebuah silo besar untuk menunggu pengepakan atau distribusi massal. Penyimpanan di dalam silo ini dilakukan untuk menjaga kelembaban dan meminimalkan meningkatnya kadar air dari pellet kayu, yang dikhawatirkan akan menurunkan kualitasnya. Pellet yang mengalami peningkatan kadar air cenderung akan rentan untuk mengalami serangan jamur, penurunan durability, kerusakan struktur (menjadi potongan yang lebih pendek dan bahkan hingga menjadi remah), penambahan berat dan juga menurunnya tingkat pembakarannya.

3.5.5 Pengemasan dan Distribusi

Metode yang paling umum digunakan untuk mendistribusikan produk pellet kayu/pellet energi di beberapa negara seperti halnya Eropa dan Amerika adalah dengan menempatkan pellet ke dalam kemasan kantong plastik atau kertas (seperti layaknya kemasan semen) seberat 10-15 kg dan menumpuknya di atas palet atau selip hingga memiliki berat total satu hingga satu setengah ton.



Gambar 3.24 Produk Pellet Kayu/Pellet Energi Dalam Kemasan Plastik 10 Kg Dan Tumpukan Dalam Paket Pengiriman 1 Ton Di Atas Palet
(Sumber: Amirta, 2018)

Berat dan jumlah kemasan bahan bakar padat ini sangat bergantung pada keinginan pasar. Bahan bakar yang telah dikemas rapi ini selanjutnya siap disalurkan kepada konsumen melalui jaringan ritel yang ada atau dikirimkan ke rumah-rumah pelanggan. Manfaat dari pengemasan dengan cara ini adalah konsumen atau pengguna secara praktis dapat membeli dan membawa produk bahan bakar padat ini dalam jumlah kecil yang ekonomis sesuai dengan tingkat kebutuhannya.



Gambar 3.25 Pemuatan pellet kayu/pellet energi dalam bentuk curah dari silo ke truk/tangki pengangkut
(Sumber: Amirta, 2018)

Selain dikemas dalam kantong-kantong berukuran kecil seperti itu, pellet kayu/pellet energi juga dapat didistribusikan secara massal dalam bentuk curah (*bulk*). Pada proses ini,

pellet kayu yang sebelumnya tersimpan di dalam silo dilokasi pabrik akan disalurkan atau dimuat langsung ke truk-truk pengangkut tertutup (truk tangki) untuk pengiriman ke wadah penyimpanan massal berikutnya di lokasi pemesan. Truk curah dalam bentuk truk tangki ini harganya lebih mahal daripada truk bak terbuka biasa, tetapi sistem pemrosesan, transfer, dan pengiriman dengan menggunakan metode ini jauh lebih efisien dan aman terutama untuk menghindari meningkatnya kadar air dan kerusakan atau penurunan kualitas fisik dari produk pellet.

Tidak hanya didistribusikan dengan menggunakan armada pengangkutan berupa truk, pengiriman pellet kayu/pellet energi dalam jumlah yang besar juga dilakukan dengan menggunakan kapal laut (*cargo ship*), terutama untuk keperluan ekspor jarak jauh antar negara yang tidak mungkin dijangkau dengan transportasi darat. Pengiriman dengan menggunakan kapal laut seperti ini juga dinilai jauh lebih murah dan mudah, terutama jika dikaitkan dengan jarak yang harus dihubungkan dari satu negara ke negara lainnya yang sangat jauh. Praktek distribusi dan pengapalan seperti ini telah dilakukan dalam melayani ekspor produk pellet kayu/pellet energi biomassa dari kawasan ASEAN (Malaysia, Thailand dan Indonesia) ke negara-negara tujuan seperti Jepang, Korea Selatan dan China (Amirta, 2018).



Gambar 3.26 Ekspor dan distribusi pellet kayu/pellet energi curah dengan menggunakan kapal laut

(Sumber: Amirta, 2018)

3.6 Standar Mutu (Kualitas) Pellet Kayu/Pellet Energi Global

Sejauh ini kita mengenal beberapa standar kualitas mutu dari produk pellet kayu/pellet energi yang telah ditetapkan oleh beberapa negara penggunaannya, seperti negara-negara di Amerika, Eropa dan juga Asia. Standar kualitas mutu ini pada dasarnya telah ditetapkan

dengan mengacu pada kriteria dasar mutu yang sama, namun kemudian oleh masing-masing negara tersebut selanjutnya standar mutu ini dilengkapi dengan parameter-parameter minor yang khusus disesuaikan dengan tingkat kebutuhan dan kebijakan yang ada di negara-negara tersebut. Mengapa standar kualitas atau mutu ini perlu ditetapkan atau dibuat? Standarisasi mutu untuk pellet kayu/pellet energi ini dibuat untuk memberikan arahan dan informasi awal bagi konsumen atau pengguna baik dari kelompok industri maupun rumah tangga dalam memilih jenis, kualifikasi dan mutu produk yang akan mereka beli dan gunakan beserta keadilan pada nilai dari produk itu sendiri. Tentu saja produk yang berkualitas baik akan dihargai dengan baik, dan sebaliknya mutu produk yang rendah akan dinilai secara ekonomis dengan nilai yang rendah pula. Tinggi rendahnya harga akan sangat berbanding lurus dengan manfaat dari produk yang akan diterima oleh konsumen selaku pengguna dari sisi mutu.

Beberapa parameter dasar yang umumnya digunakan untuk menilai baik tidaknya mutu suatu produk pellet kayu/pellet energi diantaranya adalah:

1. Perbedaan atau error pada diameter pellet ≤ 1 mm

Diameter pellet kayu yang paling umum adalah 6mm dan 8mm. Semakin kecil diameternya, semakin baik kinerja pelletizing yang dimilikinya. Tetapi jika diameternya di bawah 5 mm, konsumsi energi akan meningkat dan kapasitasnya juga akan menurun. Karena bentuknya, pellet yang merupakan produk hasil kompresi memiliki volume produk yang mampu menghemat ruang penyimpanan. Oleh karena itu transportasinya pun akan mudah, sehingga biaya transportasi rendah. Secara umum penilaian terhadap diameter pellet ini dapat diterima manakal terjadi perbedaan yang tidak lebih dari 1 mm.

2. Kadar air (*moisture content*) $\leq 10\%$

Menurut semua standar pellet kayu, kadar air yang dibutuhkan serupa, haruslah tidak lebih dari 10%. Secara teknis, selama proses, kandungan air adalah pengikat dan pelumas. Jika kadar air terlalu rendah, pellet tidak dapat sepenuhnya dibentuk dan diperpanjang, sehingga pellet mungkin akan mengalami deformasi, dan kerapatannya juga akan lebih rendah dari pellet normal. Tetapi jika kadar air terlalu tinggi, konsumsi energi akan meningkat, dan volume juga akan meningkat. Biasanya pellet akan memiliki permukaan kasar dan dalam kasus yang parah, bahan baku dapat keluar dan merembes dari dies. Semua standar pellet menunjukkan bahwa kelembaban terbaik untuk pellet kayu adalah 8%, dan kelembaban terbaik untuk pellet biomassa butir adalah 12%. Kelembaban pellet dapat diukur dengan menggunakan moisture meter.

3. Kerapatan ruah/curah (*bulk density*) ≥ 600 kg/m³

Kepadatan pellet kayu adalah salah satu spesifikasi yang paling penting, biasanya itu dapat dibagi menjadi densitas dan kerapatan pellet. Kerapatan *bulky* (ruah) adalah properti atau sifat dari bahan yang ruah, seperti pellet, rumusnya adalah jumlah bahan bulky (ruah) dibagi dengan volume yang mereka butuhkan. Kerapatan bulky (ruah atau curah) ini tidak hanya berdampak pada kinerja pembakaran tetapi juga pada biaya transportasi dan biaya penyimpanannya. Lebih jauh lagi, kepadatan pellet juga berpengaruh pada kinerja pembakaran, dimana semakin tinggi densitasnya, semakin lama pula waktu pembakarannya.

4. Ketahanan mekanis (*mechanical durability*) $\geq 96,5\%$

Ketahanan mekanis juga merupakan parameter penting. Selama transportasi dan penyimpanan. Pellet kayu/pellet energi dengan daya tahan mekanis yang lebih rendah mudah akan rusak, dan itu akan meningkatkan kandungan bubuk (*fine dust*) yang dimilikinya. Diantara semua jenis pellet biomassa, pellet kayu memiliki ketahanan mekanik yang tertinggi, sekitar 97,8%. Bandingkan dengan semua standar pellet biomassa, dimana daya tahan mekanik yang dimilikinya tidak pernah kurang dari 95%.



Gambar 3.27 Perbandingan kualitas pellet kayu didasarkan pada kekuatan struktur mekanisnya: A. pellet dengan kualitas yang baik; B. pellet dengan kualitas sedang dan C. pellet kayu kualitas rendah, struktur pellet hancur menjadi remah

(Sumber: Kofman, 2007).

5. Kandungan elemen kimia pengemisi yang rendah

Untuk semua jenis dan kelompok pengguna produk pellet kayu/pellet energi yang berbasis biomassa, masalah yang paling mengkhawatirkan dan dicermati adalah emisi, yang terdiri dari NO_x, SO_x, HCl, PCCD (polychlorinated dibenzo-p-dioxins) dan *fly ash*. Kandungan Nitrogen dan Sulfur dalam pellet energi akan menentukan jumlah NO_x dan SO_x. Selain itu, masalah korosi ditentukan pula oleh kandungan klorin. Untuk memiliki kinerja pembakaran yang lebih baik, semua standar mutu pellet yang ada merekomendasikan

kandungan unsur-unsur kimia dan potensi emisi yang lebih rendah. Pertimbangan akan keberlanjutan lingkungan yang bersih dan kesehatan bagi manusia/pengguna adalah dasar dari ditetapkannya syarat mutu dari elemen kimia ini.

Tabel 3.1 Kandungan unsur kimia (emisi) dalam pellet kayu

Elemen	%	Elemen	%	Elemen	%
Nitrogen	≤ 0,50	Cadmium	≤ 0,50	Mercury	≤ 0,10
Sulfur	≤ 0,04	Chromium	≤ 10,0	Nickel	≤ 10,0
Klorin	≤ 0,03	Cooper	≤ 10,0	Zinc	≤ 100
Arsenik	≤ 1,00	Lead (Pb)	≤ 10,0	-	-

(Sumber: Amirta, 2018)

Setelah mengetahui beberapa parameter dasar yang patut dicermati dan digunakan dalam menilai kualitas atau mutu dari produk pellet kayu, maka akan jauh lebih lengkap jika kita juga turut melihat rincian dari parameter yang ada pada beberapa standar mutu pellet kayu di dunia (Tabel 3.3 dan 3.4). Namun sebelum itu ada baiknya juga jika kita turut melihat perbandingan nilai kandungan energi, efisiensi, dan potensi emisi yang dihasilkan dari penggunaan berbagai jenis atau sumber bahan baku energi yang kita kenal hingga saat ini, seperti batu bara, gas alam dan juga biomassa kayu baik yang digunakan dalam bentuk utuh sebagai kayu bakar maupun yang telah diproses lebih menjadi pellet kayu.

Tabel 3.2 Perbandingan kandungan energi dan emisi dari pellet kayu dengan berbagai jenis bahan bakar

Jenis Bahan Bakar	Gross Efisiensi (%)	Kandungan Energi dan Emisi			
		Energi (MJ/kg)	CO ₂ (kg/GJ)	Sulfur (%)	Abu (%)
Fuel oil	72,6	42,0	78	12	15
Diesel	81,6	42,5	78	0,2	1
Gas alam	87,1	35-38	57	0	0
Batubara	56,1	15-25	60	13	10-35
Pellet kayu	86,0	17,5	0	0,1	1
Chip kayu	49,5	10	0	0	1

(Sumber: Amirta, 2018)

Berikut ini akan disajikan beberapa standar kualitas mutu tersebut beserta parameter umum maupun khusus yang diatur di dalamnya. Standar mutu yang disajikan pada penjelasan

ini adalah yang diatur dan ditetapkan oleh *Fuel Pellet Institute* (FPI) yang secara umum digunakan pada penilaian kualitas produk pellet kayu di Amerika dan EN-Plus yang berlaku dan digunakan pada penilaian kualitas atau mutu produk pellet kayu/pellet energi di beberapa negara Eropa. Selain standar kualitas mutu yang ditetapkan dan berlaku di Jerman (DIN) dan Austria (Ö NORM) juga akan turut diperbandingkan.

Tabel 3.3 Standar kualitas pellet kayu *Pellet Fuel Institute* – PFI

Fuel Property (Normative)	Residential/Commercial Densified Fuel Standard		
	PFI Premium	PFI Standard	PFI Utility
Bulk Density (lb/cubic foot)	40.0 – 46.0	38.0 – 46.0	38.0 – 46.0
Diameter (inch)	0.230 – 0.285	0.230 – 0.285	0.230 – 0.285
Diameter (mm)	5.84 – 7.25	5.84 – 7.25	5.84 – 7.25
Pellet Durability Index	≥ 96.5	≥ 95.0	≥ 95.0
Fines (%) - at the mill gate	≤ 0.5	≤ 1.0	≤ 1.0
Inorganic ash (%)	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 6.0
Length (inch) Greater than 1.50 inches	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0
Moisture (%)	≤ 8.0	≤ 10.0	≤ 10.0
Chloride (ppm)	≤ 300	≤ 300	≤ 300
Heating Value	NA	NA	NA
Ash fusion	NA	NA	NA

Sumber: Anonim (2018 - Gemco Energy)

Tabel 3.4 Standar kualitas pellet kayu DIN (Jerman) dan Ö NORM (Austria)

Fuel Property	Residential/Commercial Densified Fuel Standard		
	DIN Plus	DIN 57131	Ö NORM M7135
Diameter (mm)	4 - 10	4 - 10	4 - 10
Length (mm)	< 5 x D	< 50 mm	< 5 x D
Density (kg/dm ³)	> 1.12	1.0 – 1.4	> 1.12
Water content (%)	< 10	< 12	< 10
Abrasion (%)	< 2.3	-	< 2.3
Ash content (%)	< 0.5	< 1.5	< 0.5
Energy content (MJ/kg)	> 18	17.5 – 19.5	> 18
Sulphur content (%)	< 0.04	< 0.08	< 0.04
Chlorine content (%)	< 0.02	< 0.03	< 0.02
Nitrogen content (%)	< 0.3	< 0.3	< 0.3
Heavy metals (%)	Regulated	Regulated	Not Regulated

(Sumber: Hiegl et al. 2009)

Tabel 3.5 Standar mutu pellet kayu/pellet energi Eropa (EN Plus)

Quality Parameter	Unit	ENPlus-A1	EN Plus-A2	EN-B
Diameter	mm	6 or 8 +/- 1	6 or 8 +/- 1	6 or 8 +/- 1
Length	mm	3.15 - 40	3.15 - 40	3.15 - 40
Bulk Density	kg/m ³	>600	>600	>600
Net Calorific Value	MJ/kg	16.5 - 19	16.5 - 19	16.5 - 19
Moisture	%	<10	<10	<10
Durability	%	>97.5	>97.5	>97.5
Ash	%	<0.7	<1.5	<3
Ash Melting Temp.	°C	>1200	>1100	>1100

Sumber: (Amirta, 2018)

Tabel 3.6 Standar Mutu Pellet Kayu/Pellet Energi Eropa (EN Plus) – Lanjutan

Quality Parameter	Unit	ENPlus-A1	EN Plus-A2	EN-B
Material		<ul style="list-style-type: none"> • Stem wood • Chemically untreated wood residues 	<ul style="list-style-type: none"> • Whole trees without roots • Stem Wood • Logging residues • Chemically untreated wood residues 	<ul style="list-style-type: none"> • Forest, plantation & other virgin wood • Chemically untreated wood residues & used wood

Sumber: (Amirta, 2018)

3.7 Penelitian Pellet Kayu

Pellet kayu merupakan topik yang belakangan ini cukup hangat dibicarakan akademisi, karena instruksi pemerintah yang meminta kalangan industri untuk mulai beralih ke bahan bakar terbarukan dan perlahan mengurangi energi fosil atau tidak terbarukan. Hal ini membuat pellet kayu menjadi salah satu pilihan yang menarik karena dilihat dari sisi keterbarukan dan ketersediannya. Beberapa penelitian tentang pellet kayu, sebagai berikut:

1. Pengaruh Variasi Ukuran Serbuk Dan Persentase Perekat Terigu Terhadap Sifat Fisik Pellet Kayu Gelam. Penelitian ini dilakukan oleh Andy Nugraha, Herry Irawansyah, Moh Noer Afifudin, Muhammad, Rizqi Nor Al'Arisko pada tahun 2022. Dari penelitian ini diketahui bahwa kadar zat-zat terbang (*volatile matter*), kadar abu, dan kadar air cenderung meningkat dengan semakin kecilnya ukuran serbuk kayu gelam. Sedangkan nilai kalor dan kadar karbon terikat (*fixed carbon*) memiliki kecenderungan

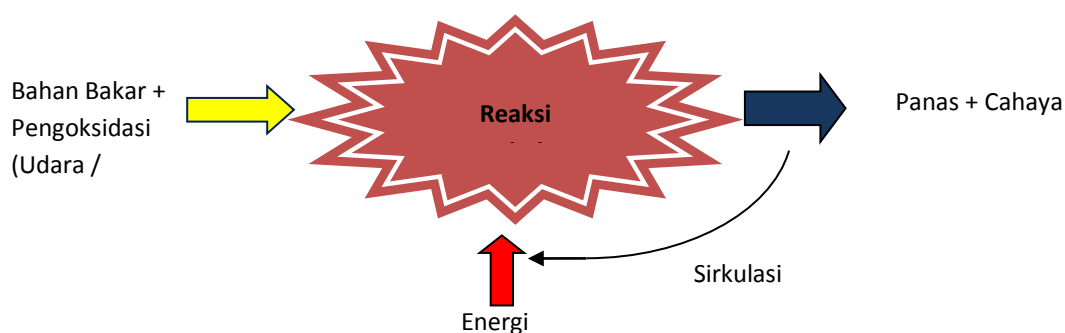
menurun dengan semakin kecilnya ukuran serbuk kayu gelam. kadar zat-zat terbang (*volatile matter*), kadar abu, dan kadar air cenderung mengalami peningkatan seiring bertambahnya persentase jumlah perekat. Sedangkan nilai kalor dan kadar karbon terikat (*fixed carbon*) cenderung menurun dengan bertambahnya persentase jumlah perekat. Artikel jurnal ini dapat di akses melalui halaman <http://ojs.ummetro.ac.id/index.php/turbo/article/view/1825/pdf>.

2. Pengaruh Variasi Ukuran Serbuk (Mesh) Dan Persentase Perekat Tapioka Terhadap Sifat Fisik Pellet Kayu Gelam. Penelitian ini dilakukan oleh Herry Irawansyah, Andy Nugraha, Moh Noer Afifudin, Muhammad, Rizqi Nor Al'Arisko pada tahun 2021. Dari penelitian ini diketahui bahwa pellet kayu mengalami peningkatan pada kadar air, kadar abu, dan kadar zat-zat terbang seiring semakin kecilnya ukuran serbuk (mesh) kayu gelam. Sedangkan kadar karbon terikat dan nilai kalor pellet kayu mengalami penurunan seiring dengan semakin kecilnya ukuran serbuk (mesh) kayu gelam. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan perekat tapioka mempengaruhi karakteristik sifat fisik pellet kayu, semakin tinggi persentase perekat maka kadar air, kadar zat-zat terbang, dan kadar abu semakin meningkat. Sementara itu, penambahan persentase perekat pada pellet kayu menyebabkan penurunan pada kadar karbon terikat dan nilai kalornya. Artikel jurnal ini dapat di akses melalui halaman <https://journal.umpo.ac.id/index.php/multitek/article/view/4194/2077>.

BAB IV KARAKTERISTIK PEMBAKARAN

4.1 Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar dan pengoksidasi (oksigen/udara) yang menghasilkan panas dan cahaya. Proses pembakaran bisa berlangsung jika ada: bahan bakar, pengoksidasi (oksigen/udara), dan panas atau energi aktivasi. Ilustrasi proses pembakaran dapat di lihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Ilustrasi Proses Pembakaran Secara Umum

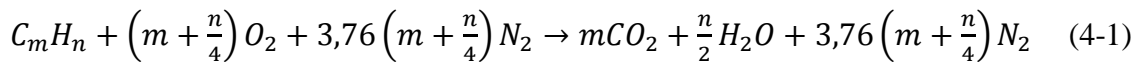
Sumber: Wardana (2008:3)

Panas atau energi disini diperlukan untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar. Panas atau energi yang digunakan untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar disebut energi aktivasi. Pada proses pembakaran kontinyu, umumnya energi aktivasi diambil dari panas hasil pembakaran lewat cara radiasi atau lewat cara konveksi (sirkulasi bolak-balik). Agar reaksi pembakaran bisa berlangsung maka molekul-molekul bahan bakar dibuat bermuatan dengan cara melepaskan satu atau beberapa elektron dari kulit terluar atom atau memutus ikatan rantai molekul.

Secara fundamental bisa didefinisikan bahwa pembakaran adalah proses lepasnya ikatan-ikatan kimia lemah bahan bakar akibat pemberian energi tertentu dari luar menjadi atom-atom bermuatan yang aktif kemudian bereaksi dengan oksigen membentuk ikatan molekul-molekul kuat yang menghasilkan panas dalam jumlah sangat besar dan cahaya (Wardana, 2008:3-7).

Proses pembakaran akan terjadi jika unsur-unsur bahan bakar teroksidasi. Proses ini akan menghasilkan panas sehingga akan disebut sebagai proses oksidasi termis. Jika oksigen yang dibutuhkan untuk proses pembakaran diperoleh dari udara, di mana udara terdiri dari

21% oksigen dan 79% nitrogen, maka reaksi stokiometrik pembakaran hidrokarbon C_mH_n dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut:



Persamaan ini telah disederhanakan karena cukup sulit untuk memastikan proses pembakaran yang sempurna dengan rasio ekivalen yang tepat dari udara. Jika terjadi pembakaran tidak sempurna, maka hasil persamaan di atas berupa CO_2 dan H_2O tidak akan terjadi, akan tetapi terbentuk hasil oksidasi parsial berupa CO , CO_2 , dan H_2O . Juga sering terbentuk hidrokarbon tak jenuh, formaldehida, dan kadang-kadang didapat juga karbon (Taufiq, 2008).

Pembakaran bahan bakar baik itu padat, cair, dan gas tidak lepas dari rasio udara/bahan bakar (air/fuel ratio, disingkat AFR). Rasio ini menunjukkan seberapa besar massa udara dan bahan bakar yang digunakan dalam proses pembakarannya. AFR dari suatu pembakaran bahan bakar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$(AFR)_{stoic} = \left(\frac{N_{udara}}{N_{bahan\ bakar}} \right)_{stoic}, \text{ di mana } N \text{ adalah jumlah mol.} \quad (4-2)$$

$$(AFR)_{stoic} = \left(\frac{M_{udara}}{M_{bahan\ bakar}} \right)_{stoic}, \text{ di mana } M \text{ adalah massa molekul.} \quad (4-3)$$

(Wardana, 2008:58-59).

4.2 Bahan Bakar

Secara umum bahan bakar yang dipakai selama ini oleh masyarakat digolongkan ke dalam dua kelompok besar, yaitu bahan bakar primer dan bahan bakar sekunder. Bahan bakar primer adalah bahan bakar yang dapat secara langsung digunakan seperti kayu dan gas alam. Sedangkan bahan bakar sekunder adalah bahan bakar yang diolah terlebih dahulu dari bahan bakar primer sebelum dipakai, misalnya bensin, minyak tanah, dan minyak diesel atau solar. Bahan bakar mempunyai kandungan utama yaitu karbon (C) dan hidrogen (H), disamping itu bahan bakar juga mengandung nitrogen (N), sulfur (S), oksigen (O), karbondioksida (CO_2), dan air (H_2O) dalam jumlah yang kecil (Wardana, 2008:13).

4.2.1 Bahan Bakar Padat

Bahan bakar padat banyak digunakan pada proses pembakaran pembangkitan uap untuk pembangkit daya, prosesing, dan sebagainya. Beberapa contoh bahan bakar padat antara lain:

kayu bakar, arang, batubara, mesiu, dan sebagainya. Pada proses pembakaran bahan bakar padat terlebih dahulu mencair, kemudian menguap menjadi gas dan lalu terbakar (Wardana, 2008:30).

4.2.2 Pembakaran Bahan Bakar Padat

Mekanisme pembakaran bahan bakar padat yang terbuat dari biomassa terdiri atas tiga tahap, yaitu pengeringan (*drying*), devolatilisasi (*devolatilization*), dan pembakaran arang (*char combustion*).

1. Pengeringan (*drying*)

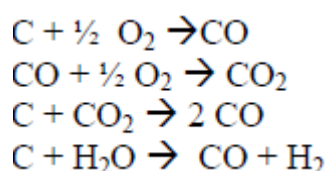
Dalam proses ini bahan bakar mengalami proses kenaikan temperatur yang akan mengakibatkan menguapnya kadar air yang berada pada permukaan bahan bakar tersebut, sedangkan untuk kadar air yang berada di dalam akan menguap melalui pori-pori bahan bakar padat tersebut.

2. Devolatilisasi (*devolatilization*)

Setelah proses pengeringan, bahan bakar mulai mengalami dekomposisi, yaitu pecahnya ikatan kimia secara termal dan zat terbang (*volatile matter*) akan keluar dari partikel briket. *Volatile matter* adalah hasil dari proses devolatilisasi. Selama proses devolatilisasi, kandungan *volatile* akan keluar dalam bentuk gas seperti: CO, CO₂, CH₄, dan H₂. Komposisi gas selama devolatilisasi tergantung pada jenis bahan yang dibakar. Proses devolatilisasi diikuti dengan oksidasi bahan bakar padat yang lajunya tergantung pada konsentrasi oksigen, suhu gas, ukuran dan porositas arang. Suhu pembakaran yang lebih tinggi dapat menaikkan laju reaksi dan menyebabkan waktu pembakaran menjadi lebih singkat. Demikian pula dengan kecepatan gas yang tinggi pada permukaan dapat menaikkan laju pembakaran bahan bakar padat, terutama disebabkan oleh laju perpindahan massa oksigen ke permukaan partikel yang lebih tinggi (Jamilatun, 2008).

3. Pembakaran arang (*char combustion*)

Partikel bahan bakar mengalami tahapan oksidasi arang dan memerlukan 70% - 80% dari total waktu pembakaran (Fretes, 2013). Arang karbon yang bereaksi dengan oksigen pada permukaan partikel membentuk karbon monoksida dan karbon dioksida, yang reaksinya adalah sebagai berikut:



Pembakaran arang pada proses pembakaran bahan bakar padat berlangsung secara difusi, yaitu bahan bakar dan udara bercampur sesaat sebelum pembakaran terjadi, hal ini membuat proses pembakaran arang seringkali berlangsung pada keadaan yang tidak stokiometrik atau tidak sempurna. Hal ini terjadi karena tidak tersedianya oksigen dalam jumlah yang cukup untuk membakar bahan bakar sehingga menghasilkan karbondioksida dan air (Jamilatun, 2008).

4.2.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pembakaran Bahan Bakar Padat

Selama proses pembakaran bahan bakar padat terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi proses tersebut, antara lain:

1. Ukuran partikel

Salah satu faktor yang mempengaruhi proses bahan bakar padat adalah ukuran partikel bahan. Partikel bahan bakar yang lebih kecil ukurannya akan lebih cepat terbakar.

2. Kecepatan aliran udara

Laju pembakaran briket akan naik dengan adanya kenaikan kecepatan aliran udara dan kenaikan temperatur.

3. Jenis bahan bakar

Jenis bahan bakar akan menentukan karakteristik bahan bakar. Karakteristik tersebut antara lain kandungan zat-zat terbang (*volatile matter*) dan kandungan air.

4. Temperatur udara pembakaran

Kenaikan temperatur udara pembakaran menyebabkan semakin pendeknya waktu pembakaran.

Proses pembakaran bahan bakar padat terdiri dari beberapa tahap seperti pengeringan, devolatisasi, dan pembakaran arang. Selama proses devolitisasi, kandungan volatil akan keluar dalam bentuk gas seperti: CO, CO₂, CH₄, dan H₂. Proses devolitisasi diikuti dengan oksidasi bahan bakar padat yang lajunya tergantung pada konsentrasi oksigen, suhu gas, ukuran, dan porositas arang. Kenaikan konsentrasi oksigen dalam gas menimbulkan laju pembakaran lebih tinggi. Suhu pembakaran yang lebih tinggi dapat menaikkan laju reaksi dan menyebabkan waktu pembakaran menjadi lebih singkat. Demikian pula dengan kecepatan gas yang tinggi pada permukaan dapat menaikkan laju pembakaran bahan bakar padat, terutama disebabkan oleh laju perpindahan oksigen ke permukaan partikel yang lebih tinggi (Fretes, 2013).

4.2.4 Pola Penyebaran Api Bahan Bakar Padat

Secara umum permukaan bahan bakar padat dapat terbakar dengan sudut orientasi berapapun, namun penyebaran api akan sangat cepat bila terbakar pada permukaan benda padat yang vertikal. Sudut orientasi merupakan sudut yang terbentuk antara permukaan benda padat dengan garis horizontal, dimana 0^0 berarti permukaan horizontal dan sudut 90^0 berarti permukaan vertikal.

Arah dari rambatan api juga menentukan kecepatan penyebaran api. Penyebaran api ke bawah akan lebih lambat dibanding penyebaran api ke atas. Alasannya dapat dijelaskan berdasarkan interaksi fisik yang terjadi antara lidah api dengan bahan bakar yang belum terbakar dapat berubah ketika orientasinya berubah. Untuk penyebaran api ke bawah dan horizontal disebut *counter-current*, sedangkan penyebaran api ke atas disebut *concurrent*. *Counter-current* menjelaskan bahwa terdapat aliran udara yang arahnya berlawanan dengan arah perambatan api, sedangkan untuk *concurrent* arah penyebaran api searah dengan aliran udara. Penyebaran api pada *concurrent* lebih cepat dibandingkan pada *counter-current*, hal ini disebabkan karena pada *concurrent* lidah api dan udara panas mengalir ke daerah yang belum terbakar dan menyebabkan api mudah menjalar ke daerah tersebut (Hartanto, 2008).

4.3 Karakteristik Pembakaran Briket dan Pellet

Karakteristik pembakaran diperlukan sebagai salah satu tolak ukur kualitas dan performa briket dan pellet yang di buat. Karakteristik pembakaran briket tersebut, antara lain:

1. Penyalaan awal briket dan pellet

Penyalaan awal briket berhubungan erat dengan kenyamanan penggunaan briket dan pellet nantinya. Briket dan pellet dengan penyalaan yang lambat cenderung akan ditinggalkan penggunaannya karena banyak waktu terbuang hanya untuk menyalakan briket dan pellet tersebut yang semestinya bisa dimanfaatkan untuk kegiatan lain yang lebih bermanfaat. Waktu awal penyalaan briket sangat dipengaruhi kadar air, kadar zat-zat terbang (*volatile matter*) dan banyaknya perekat yang ditambahkan ke dalam briket dan pellet.

2. Lama pembakaran briket dan pellet

Briket dan pellet yang memiliki proses pembakaran lama dan dengan temperatur cukup stabil serta cukup tinggi cenderung lebih disenangi penggunaannya dikarenakan akan dapat lebih banyak dimanfaatkan untuk mendukung kegiatan penggunaannya dan tentunya lebih menghemat biaya pengeluaran untuk membeli briket dan pellet.

3. Penurunan berat briket dan pellet selama proses pembakaran

Pemantauan penurunan berat briket dan pellet selama proses pembakarannya bertujuan untuk mengamati sejauh mana berat briket dan pellet yang berkurang dalam pembakarannya. Briket dan pellet yang kehilangan beratnya secara signifikan selama proses pembakaran perlu di amati lebih lanjut karena nantinya akan mempengaruhi performa penggunaannya.

4. Laju pembakaran briket dan pellet

Laju pembakaran briket dan pellet merupakan berkurangnya berat briket dan pellet per satuan waktu selama proses pembakaran, yaitu dimulai dari awal terbakarnya briket dan pellet sampai menjadi abu. Suhu pembakaran yang lebih tinggi dapat menaikkan laju reaksi dan menyebabkan waktu pembakaran menjadi lebih singkat. Demikian pula dengan kecepatan gas yang tinggi pada permukaan dapat menaikkan laju pembakaran bahan bakar padat, terutama disebabkan oleh laju perpindahan berat oksigen ke permukaan partikel yang lebih tinggi (Fretes, 2013).

$$\text{Laju pembakaran briket} = \frac{\text{berat awal} - \text{berat akhir}}{\text{waktu}} \quad (\text{Fretes, 2013}) \quad (4-4)$$

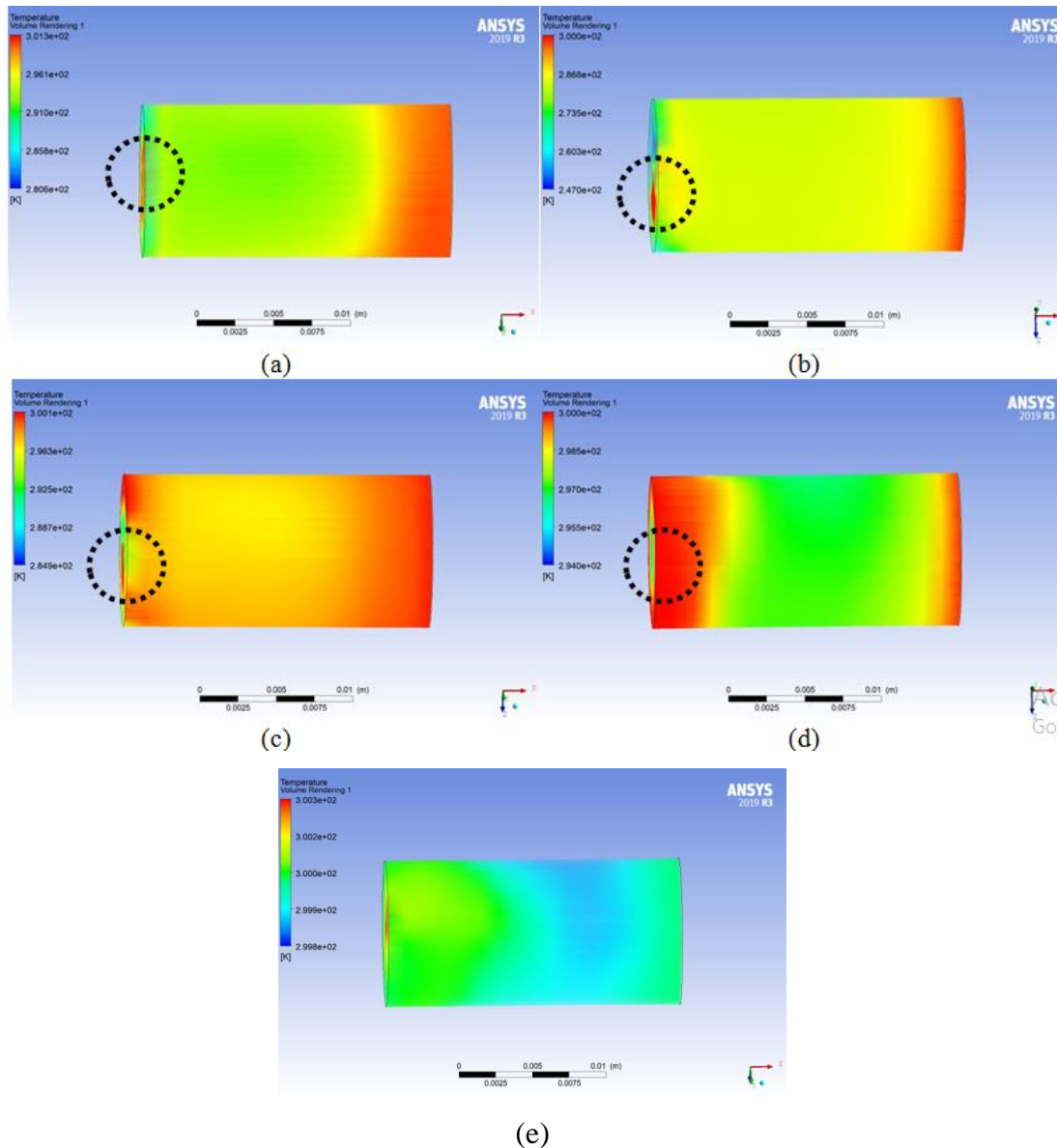
5. Temperatur Pembakaran briket dan pellet

Temperatur pembakaran briket dan pellet merupakan temperatur yang terjadi selama proses pembakaran briket dan pellet. Temperatur briket dan pellet akan terus naik dan mencapai titik maksimal seiring dengan banyaknya bagian briket dan pellet yang terbakar dan akan menurun seiring dengan banyaknya bagian briket dan pellet yang menjadi abu. Temperatur maksimal briket dan pellet berperan penting dalam pemanfaatan dan perencanaan kompor briket dan pellet.

4.4 Simulasi Karakteristik Pembakaran

Penelitian simulasi merupakan bentuk penelitian yang bertujuan untuk mencari gambaran melalui sebuah sistem berskala kecil atau sederhana dimana di dalam model tersebut akan dilakukan manipulasi atau kontrol untuk melihat pengaruhnya. Penelitian ini mirip dengan penelitian eksperimental, perbedaannya adalah di dalam penelitian ini membutuhkan lingkungan yang benar-benar serupa dengan keadaan atau sistem yang asli. Dewasa ini, simulasi sudah banyak sekali dilakukan oleh akademisi maupun industri karena kemudahan dan tidak memerlukan banyak biaya. Aplikasi simulasi yang sering kali digunakan yaitu ANSYS. Aplikasi ANSYS memiliki fitur-fitur sangat mendukung untuk simulasi dengan berbagai variabel. Salah satu simulasi yang sangat didukung oleh aplikasi ini, yaitu simulasi karakteristik pembakaran. Simulasi ini bertujuan untuk memodelkan dan

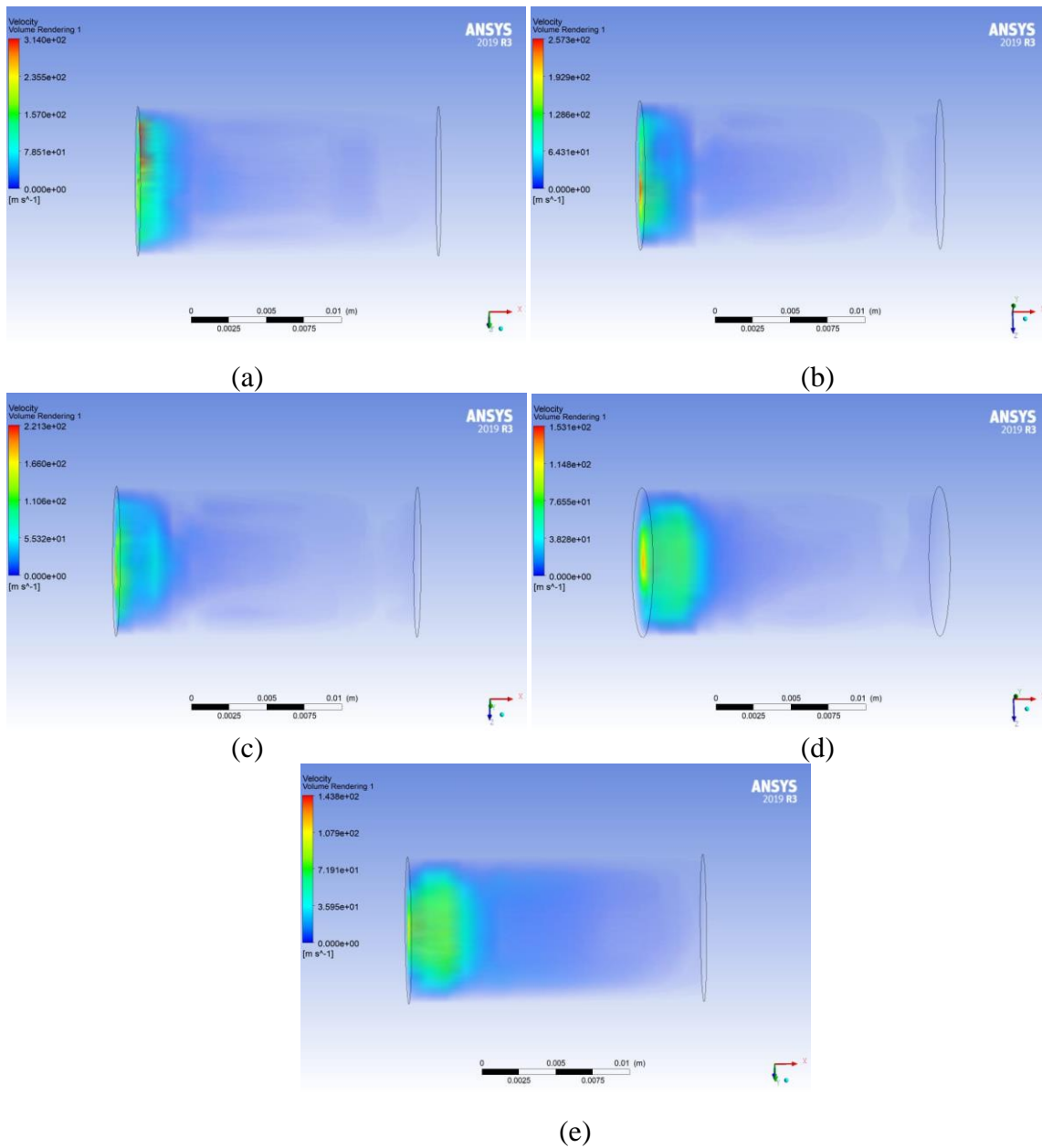
melihat fenomena yang terjadi ketika pembakaran terjadi terutama pembakaran briket dan pellet kayu, seperti pada penelitian yang berjudul Pengaruh Variasi Campuran (Kayu gelam+Sekam padi) Pada Bio-Pellet Terhadap Nilai Temperatur, Laju Dan Tekanan Pembakaran yang dilakukan oleh Rachmat Subagyo, Andy Nugraha, Hajar Isworo, Trendy Pratama, dan M. Zainul Rusdi. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi pembakaran pellet kayu gelam-sekam padi yang hasilnya seperti pada Gambar 4.2-4.4. Gambar 4.2 menunjukkan simulasi ANSYS untuk temperatur pembakaran pellet.



Gambar 4.2 Hasil Simulasi ANSYS Temperatur Pembakaran Pellet Pada Variasi Campuran (Kayu Gelam-Sekam Padi): (a). Komposisi Gelam 100%, (b). Komposisi Gelam 80%: Sekam Padi 20%, (c). Komposisi Gelam 60%: Sekam Padi 40%, (d) Komposisi Gelam 50%: Sekam Padi 50% dan (e). Komposisi Sekam Padi 100%.

(Sumber: Penelitian 2022)

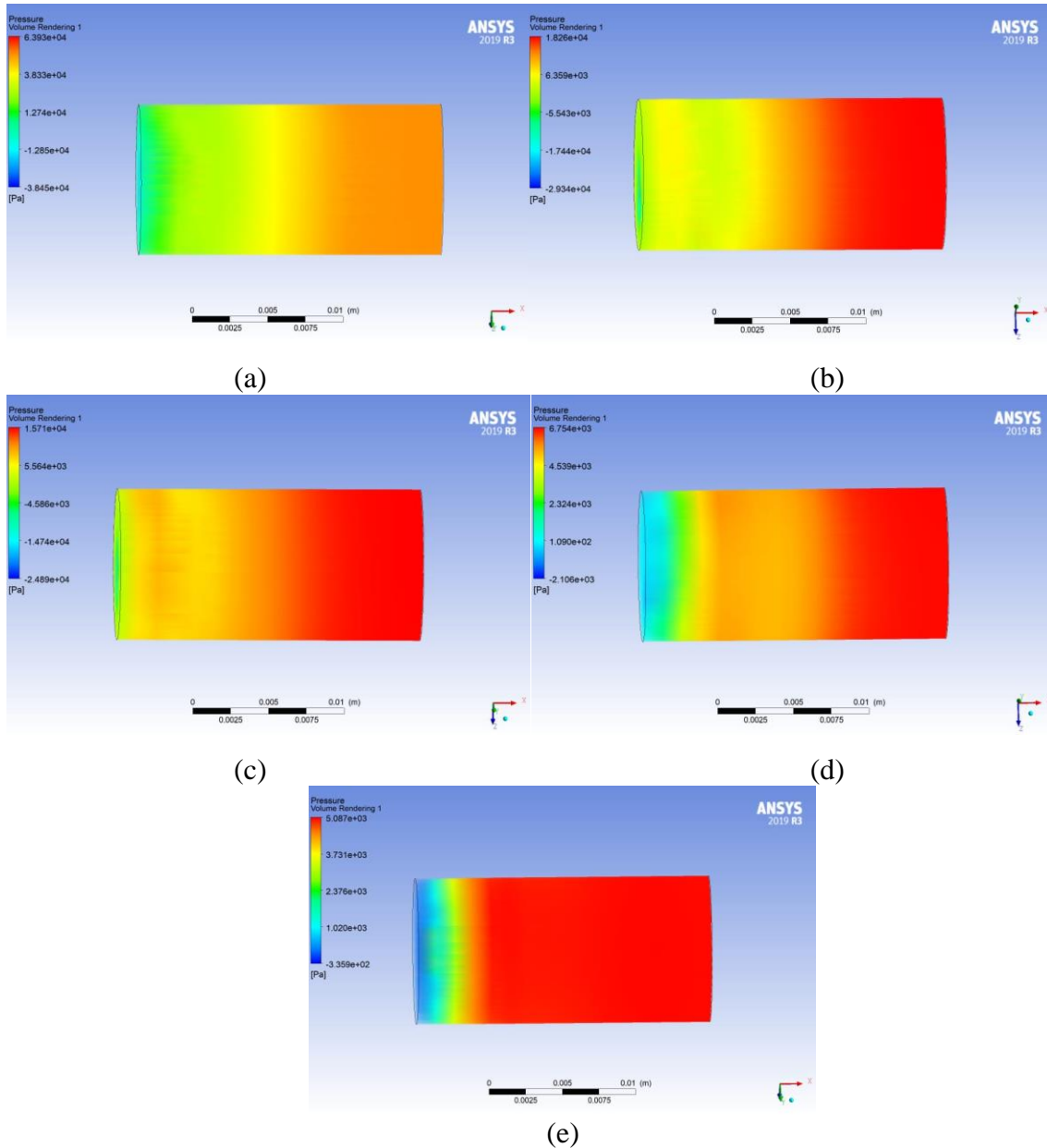
Gambar 4.2 hasil simulasi menunjukkan dominasi warna yang berbeda pada komposisi gelam 100% (warna hijau), gelam 80% (warna Kuning), gelam 60% (warna merah), gelam 50% (warna hijau) dan gelam 0% (biru). Pada simulasi ini temperatur pembakaran relatif sama nilainya tidak berbeda. Temperatur pembakaran yang baik adalah temperatur yang homogen pada seluruh permukaan pellet, dimana proses penyalaan di mulai dari temperatur tertinggi pada bagian permukaan pellet. Kemudian temperatur merambat ke daerah yang paling dekat, hingga seluruh pellet terbakar habis. Ada perbedaan pada gambar 4.2 (a-d) pada komposisi gelam 100-50% nampak munculnya warna merah (tanda lingkaran) hal ini menandakan serbuk gelam memberikan efek pembakaran dengan nilai kalor yang lebih tinggi. Semakin menurunnya gelam dalam campuran pellet menunjukkan adanya penurunan nilai kalor seperti ditunjukkan pada gambar 4.2 (e). Gambar 4.3 menunjukkan simulasi ANSYS untuk laju pembakaran pellet.



Gambar 4.3 Hasil Simulasi ANSYS Laju Pembakaran Pellet Pada Variasi Campuran (Kayu Gelam-Sekam Padi): (a). Komposisi Gelam 100%, (b). Komposisi Gelam 80%: Sekam Padi 20%, (c). Komposisi Gelam 60%: Sekam Padi 40%, (d) Komposisi Gelam 50%: Sekam Padi 50% dan (e). Komposisi Sekam Padi 100%
(Sumber: Penelitian 2022)

Gambar 4.3 hasil simulasi menunjukkan pada campuran gelam 100%, gambar 4.3 (a) tanda lingkaran, nyala cukup baik dengan laju pembakaran yang terbaik, disusul oleh gelam komposisi 80-60%, gambar 4.3 (a,b,c). Pada kondisi campuran gelam 0-50%, gambar 4.3 (d,e) tanda lingkaran, nampak api mulai kelihatan membesar yang menunjukkan pellet lebih cepat terbakar sehingga bahan bakar menjadi cepat habis. Pada proses ini memperlihatkan

pellet yang memiliki massa jenis yang besar berpengaruh pada laju pembakaran pellet sehingga memperpanjang waktu terbakarnya. Massa jenis dari pelet dipengaruhi oleh tekanan pencetakan pelet, semakin besar tekanan membuat bahan bakar semakin padat dan memiliki massa jenis yang besar. Gambar 4.4 menunjukkan simulasi ANSYS untuk tekanan pembakaran pellet.



Gambar 4.4 Hasil Simulasi ANSYS Tekanan Pembakaran Pada Variasi Campuran (Kayu Gelam-Sekam Padi): (a). Komposisi gelam 100%, (b). Komposisi Gelam 80%: Sekam padi 20%, (c). Komposisi Gelam 60%: Sekam Padi 40%, (d) Komposisi Gelam 50%: Sekam Padi 50% dan (e). Komposisi Sekam Padi100%

(Sumber: Penelitian 2022)

Gambar 4.4 Hasil simulasi menunjukkan tekanan udara pembakaran tertinggi terjadi pada komposisi gelam 100% gambar (4.4.a) dan terendah pada komposisi sekam 100% gambar (4.4.e). Hal ini menunjukkan bahwa penambahan komposisi sekam padi menurunkan tekanan pembakaran. Nampak pada komposisi gelam 100-60% (4.4 a,b,c) tekanan pembakarannya tinggi di ujung-ujung pellet (tanda lingkaran) berbeda halnya pada komposisi gelam 50-0% (tanda lingkaran) tekanan pembakaran pada ujung pellet mulai menurun (tanda lingkaran). Tekanan pada pellet 0% gelam (4.4 e) adalah yang paling rendah (tanda lingkaran) sehingga pada pellet dengan 0%, kestabilan proses pembakaran terganggu sehingga nyala api menjadi tidak stabil.

4.5 Penelitian Karakteristik Pembakaran

Karakteristik pembakaran briket dan pellet merupakan langkah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui performa baik briket maupun pellet pada saat digunakan. Dengan diketahuinya performa ini memudahkan dalam pembuatan kompor briket dan pellet serta sosialisasi ke masyarakat tentang pemanfaatannya dan penggunaannya. Berikut beberapa penelitian yang dilakukan terkait dengan karakteristik pembakaran briket dan pellet:

1. Analisis Karakteristik Pembakaran Pellet Kayu Gelam Berperekat Tepung Tapioka. Penelitian ini dilakukan oleh Herry Irawansyah, Andy Nugraha, Rizqi Nor Al'Arisko, Muhammad, Moh Noer Afifudin pada tahun 2022. Dari penelitian ini diketahui bahwa penyalaan awal, laju pembakaran, dan temperatur pembakaran mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase perekat tapioka di dalam pellet kayu gelam. Artikel jurnal ini dapat di akses melalui halaman <https://snllb.ulm.ac.id/prosiding/index.php/snllb-lit/article/view/765>.
2. Pengaruh Tekanan Pembriketan Dan Persentase Briket Campuran Gambut Dan Arang Pelepah Daun Kelapa Sawit Terhadap Karakteristik Pembakaran Briket. Penelitian ini dilakukan oleh Andy Nugraha, Agung Widodo, Slamet Wahyudi pada tahun 2017. Dari penelitian ini diketahui bahwa peningkatan tekanan pembriketan membuat penyalaan briket semakin cepat, memperlama pembakaran briket, menurunkan laju pembakaran briket, dan meningkatkan temperatur pembakaran briket. Sedangkan semakin banyaknya persentase penambahan gambut, maka mempercepat penyalaan briket, memperlama pembakaran briket, menurunkan laju pembakaran briket, dan menurunkan temperatur briket. Artikel jurnal ini dpat di akses melalui halaman <https://rekayasamesin.ub.ac.id/index.php/rm/article/view/358>.

3. Pengaruh Variasi Komposisi Dan Jenis Perekat Terhadap Sifat Fisik Dan Karakteristik Pembakaran Briket Limbah Arang Kayu Alaban (*Vitex Pubescens Vahl*)- Sekam Padi (*Oryza Sativa L.*). Penelitian ini dilakukan oleh Akhmad Syarief, Andy Nugraha, Muhammad Nizar Ramadhan, Fitriyadi, dan Geovani Glen Supit pada tahun 2021. Dari penelitian ini diketahui bahwa kadar air, kadar abu, dan kadar zat-zat terbang (*volatile matter*) meningkat seiring bertambahnya persentase sekam padi dan perekat. Kadar karbon terikat (*fixed carbon*) dan nilai kalor mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya persentase sekam padi dan perekat. Lamanya pembakaran dan penyalaan awal briket semakin lama seiring meningkatnya persentase perekat dan limbah arang kayu alaban. Laju pembakaran briket semakin melambat seiring dengan meningkatnya persentase perekat dan limbah arang kayu alaban. Temperatur pembakaran briket semakin meningkat seiring meningkatnya persentase limbah arang kayu alaban dan menurunnya persentase perekat. Artikel jurnal ini dapat diakses melalui halaman <https://snllb.ulm.ac.id/prosiding/index.php/snllb-lit/article/view/446>.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F. Dan I.G. M. Subiksa. (2008). Lahan Gambut: Potensi Untuk Pertanian Dan Aspek Lingkungan. Balai Penelitian Tanah Dan World Agroforestry Centre (ICRAF). Bogor.
- Akhmad Syarief, Andy Nugraha, Muhammad Nizar Ramadhan, Fitriyadi, Geovani Glen Supit. (2021). Pengaruh Variasi Komposisi Dan Jenis Perekat Terhadap Sifat Fisik Dan Karakteristik Pembakaran Briket Limbah Arang Kayu Alaban (*Vitex Pubescens* VAHL)- Sekam Padi (*Oryza Sativa* L.). Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah Volume 6 Nomor 1. 1-12.
- Amirta, rudianto. (2018). Pellet Kayu Energi Hijau Masa Depan. Mulawarman University Press. Samarinda.
- Amirta R, Anwar T, Sudrajat, Yuliansyah. (2018). Trial production of fuel pellet from *Acacia mangium* waste biomass. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 144-012040.
- Annisa, Agus Triantoro, Rizal Maulanai. (2020). Pembuatan Briket Batubara Untuk Pemberdayaan Ekonomi Masyarakat Sekitar Tambang Batubara Kabupaten Banjar. PRO SEJAHTERA (Prosiding Seminar Nasional Pengabdian kepada Masyarakat). Volume 2 Halaman 121-124.
- Andy Nugraha, Agung Widodo, Slamet Wahyudi. (2017). Pengaruh Tekanan Pembriketan Dan Persentase Briket Campuran Gambut Dan Arang Pelepeh Daun Kelapa Sawit Terhadap Karakteristik Pembakaran Briket. Jurnal Rekayasa Mesin Vol.8, No.1. 29 – 36.
- Andy Nugraha, Herry Irawansyah, Moh Noer Afifudin, Muhammad, Rizqi Nor Al'Arisko. (2022). Pengaruh Variasi Ukuran Serbuk Dan Persentase Perekat Terigu Terhadap Sifat Fisik Pellet Kayu Gelam. TURBO Vol. 11 No. 1. 47-54.
- Asri Saleh, Iin Novianty, Suci Murni, A. Nurrahma. (2017). Analisis Kualitas Briket Serbuk Gergaji Kayu Dengan Penambahan Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Bakar Alternatif. Al-Kimia Volume 5 Nomor 1. 21-30.
- Baker, A. J. (1983). *Wood Fuel Properties and Fuel Products From Woods*. In: Fuelwood Management And Utilization Seminar: Proceedings. East Lansing. East Lansing. MI: Michigan State University.
- Doloksaribu, Maryati. (2014). Pembuatan Briket Arang Dari Tanah Gambut Pengganti Kayu Bakar. Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Vol. 20. 70-77.
- Elliot, M.A. dan YOHE, G.R. (1981). *The Coal Industry and Coal Research and Development in Prospective*, dalam H.H. LOWRY, Chemistry of Coal Utilization – Second Supplementary Volume, John Wiley and Sons, New York, N.Y.USA.
- Fretes, Evedore Fredo De. (2013). Karakteristik Pembakaran Dan Sifat Fisik Briket Ampas Empulur Sagu untuk Berbagai Bentuk Dan Prosentase Perekat. Universitas Brawijaya. Malang.
- Herry Irawansyah, Andy Nugraha, Moh Noer Afifudin, Muhammad, Rizqi Nor Al'Arisko. (2021). Pengaruh Variasi Ukuran Serbuk (Mesh) Dan Persentase Perekat Tapioka Terhadap Sifat Fisik Pellet Kayu Gelam. Multitek Indonesia: Jurnal Ilmiah Volume: 15 No. 2. 13-22.
- Herry Irawansyah, Andy Nugraha, Rizqi Nor Al'Arisko, Muhammad, Moh Noer Afifudin. (2022). Analisis Karakteristik Pembakaran Pellet Kayu Gelam Berperekat Tepung Tapioka. Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah Volume 7 Nomor 3. 115-120.
- Hartanto, Tri. (2008). Penelitian Sifat Bakar Dengan *Calorimeter Api*: Studi Eksperimental Pengaruh Orientasi Dan Fluks Kalor Terhadap Penyalaan Dan Penyebaran Api Pada Kayu Tropis. Universitas Indonesia. Depok.

- Hiegl W, Janssen R and Pichler W. (2009). Advancement of pellets-related European standards. WIP Renewable Energies. Holzforschung Austria, pp 1-26.
- Huhtinen, M. 2005. "Wood Energy Basic Information Pages, Wood As a Fuel". <http://www.nep.fi>.
- Irwandy, Arif. (2014). Batubara Indonesia. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Irwansyah, Akhmad Syarief, Pathur Razi Ansyah. (2022). Alih Teknologi Pembuatan Briket Serbuk Kayu Gergaji Sebagai Energi Alternatif Pada Industri Ketupat Di Banjarmasin. PRO SEJAHTERA (Prosiding Seminar Nasional Pengabdian kepada Masyarakat). Volume 4 Halaman 45-51.
- Jamilatun, Siti. (2008). Sifat-Sifat Penyalaan Dan Pembakaran Briket Biomassa, Briket Batubara Dan Arang Kayu. *Jurnal Rekayasa Proses* Vol. 2 No. 2.,37-40.
- Jasmine, Ricca. (2011). Analisis Kadar Logam Kobalt (Co) Dan Nikel (Ni) Dalam Abu Terbang Hasil Pembakaran Batubara Dari Dua Lokasi Dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Kofman PD. (2007). *The Production Of Wood Pellets*. COFORD Processing /Products No. 10., Dublin, Ireland.
- Malakauseya, Jeffrie Jacobis. (2013). Pengaruh Prosentase Campuran Briket Limbah Serbuk Kayu Gergajian Dan Limbah Daun Kayuputih Terhadap Nilai Kalor Dan Kecepatan Pembakaran. Universitas Brawijaya. Malang.
- Mariki, I Wayan Wawan, Andy Nugraha. (2018). Pengaruh Persentase Briket Campuran Gambut Dan Arang Pelepeh Daun Kelapa Sawit Terhadap Sifat Fisik Briket. Prosiding Seminar Nasional Riset Terapan Politeknik Negeri Banjarmasin. Banjarmasin.
- Mutasim, Billah. (2010). Peningkatan Nilai Kalor Batubara Peringkat Rendah Menggunakan Minyak Tanah Dan Minyak Residu. Universitas Pembangunan Nasional, Veteran. Yogyakarta.
- Prayitno, T. A. (2007). *Pertumbuhan Pohon dan Kualitas Kayu KTT 667*. Program Studi Ilmu Kehutanan. Fakultas Kehutanan UGM. Yogyakarta.
- Rachmat Subagyo, Andy Nugraha, Hajar Isworo, Trendy Pratama, M. Zainul Rusdi. (2022). Effect of Variation of Mixture (Wood Gelam+Rice Husk) on Bio-Pellet on the Value of Temperature, Rate and Pressure of Combustion, Civil and Environmental Science Journal Vol. xx, No. xx, pp. xxx-xxx, 20xx.
- Ritung, Sofyan., Wahyunto., Kusumo Nugroho., Sukarman., Hikmatullah., Suparto., Dan Chendy Tafakresnanto. (2011). Peta Lahan Gambut Indonesia. Balai Besar Penelitian Dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Rowell RM, Pettersen R, and Tshabalala MA. (2012). Cell Wall Chemistry. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites Routledge. pp 1-41. DOI/10.1201/b12487-5.
- Sinurat, Erikson. (2011). Studi Pemanfaatan Briket Kulit Jambu Mete Dan Tongkol Jagung Sebagai Bahan Bakar Alternatif. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Strauss W. (2017). Micro-Scale Pellet-Fueled Combined Heat and Power: A new distributed power solution for the smart grid of the future. The New Forest Economy-Biobased Power, Products, & Fuels E2Tech Forum, Bethel, ME 04217, USA.
- Suit, S.N. dan Arthur M.A. (2000): Sulfur diagenesis and partitioning in Holocene Peru Shelf and upper slope sediments, *Chemical Geology*, 163, 219-234.
- Sukandarrumidi. (1995). Batubara dan Gambut. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Sukandarrumidi. (2005). Geologi Sejarah. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Sukandarrumidi. (2009). Rekayasa Gambut, Briket Batubara, Dan Sampah Organik. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Sukandarrumidi. (2018). Batubara dan Gambut. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Suranto, Y. (2006). *Bahan Ajar Kuliah Energi Biomassa*. Fakultas Kehutanan UGM. Yogyakarta.

- Syafira Dian Sari, Agus Trianto, Riswan. (2018). Pengaruh Komposisi Briket Batubara Non-Karbonisasi Terhadap Parameter Kualitas Dan Karakteristik Pembakaran. Jurnal GEOSAPTA Vol. 4 No. 2. 99-103.
- Taufiq. (2008). Perbandingan Temperatur Ring Stainless Steel Dan Temperatur Ring Keramik Pada Fenomena Flame Lift-Up. Universitas Indonesia. Depok.
- Tjahjono, J.A. Eko. (2007). Inventarisasi Endapan Gambut Daerah Barambai Dan Sekitarnya Kabupaten Barito Kuala Provinsi Kalimantan Selatan. Proceeding Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan Dan Non Lapangan, Pusat Sumber Daya Geologi. Kalimantan Selatan.
- Wardana, ING. (2008). Bahan Bakar Dan Teknologi Pembakaran. PT. Danar Wijaya – Brawijaya University Press. Malang.
- Wijaya, Truman. (2006). Inventarisasi Gambut Daerah Sungai Bilah, Kabupaten Labuhan Batu Propinsi Sumatera Utara. Proceeding Pemaparan Hasil-Hasil Kegiatan Lapangan Dan Non Lapangan, Pusat Sumber Daya Geologi. Sumatera Utara.
- <https://eprints.upnyk.ac.id/21706/1/BUKU%20BATUBARA%20BAB%201%20DAN%202.pdf> diakses pada 19 September 2022.
- <https://fsc.fkt.ugm.ac.id/pelet-kayu-energi-terbarukan-yang-ramah-lingkungan/> diakses pada 19 September 2022.
- <http://geonaturalresource.blogspot.com/2015/10/jenis-batubara-indonesia-berdasarkan.htm> diakses pada 19 September 2022.
- <https://id.wikipedia.org/wiki/Arang> diakses pada 19 September 2022.
- https://id.wikipedia.org/wiki/Batu_bara diakses pada 19 September 2022.
- <https://id.wikipedia.org/wiki/Briket> diakses pada 19 September 2022.
- <http://infotambang.com/clients/infotambang/Pengantarganesabatubara.pdf> diakses pada 19 September 2022.
- <https://neededthing.blogspot.com/2017/10/proses-pembentukan-batubara.html> diakses pada 19 September 2022.
- <https://www.gurugeografi.id/2018/11/teori-terbentuknya-batu-bara-dan.html> diakses pada 19 September 2022.
- <https://www.indonesia-investments.com/id/bisnis/komoditas/batu-bara/item236> diakses pada 19 September 2022.
- <https://www.kideco.co.id/id/pengetahuan-batubara/> diakses pada 19 September 2022.
- https://www.wikiwand.com/id/Kayu_bakar diakses pada 19 September 2022.