BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Industri Tekstil

Industri tekstil merupakan industri yang menghasilkan produk berupa barang produk jadi dan/atau setengah jadi berupa kain atau benang yang terbuat dari serat yang telah diolah terlebih dahulu yang selanjutnya dapat digunakan sebagai bahan untuk sandang atau barang lainnya. Industri tekstil menggunakan bahan baku berupa serat (kapas, *polyester*, rayon) yang kemudian dilakukan pemintalan (*spinning*) untuk selanjutnya dapat diubah bentuknya menjadi benang, benang tersebut dapat diproses kembali melalui proses anyam (*weaving*) atau rajut (*knitting*) untuk menghasilkan kain yang selanjutnya dilakukan proses penyempurnaan (*finishing*) (Fauzi dkk.)

Proses yang terjadi di industri tekstil yaitu dengan membersihkan bahan baku terlebih dahulu yaitu kapas yang selanjutnya dilakukan proses pemintalan untuk menghasilkan produk berupa benang, benang terlebih dahulu ditambah kanji untuk memperkuat benang saat proses penenunan atau perajutan. Kain yang telah ditenun kemudian ditambahkan asam atau air untuk membersihkan kandungan kanji yang masih terdapat pada kain, pada waktu yang bersamaan dapat juga ditambahkan larutan alkali panas untuk menghilakan kotoran dari kapas. Setelah seluruh proses tersebut terjadi dapat dilakukan pembersihan dengan melakukan pembilasan menggunakan air atau menambahakn asam untuk meningkatkan ketahanan dari kain. Kain selanjutnya dilakukan pewarnaan, sebelum dilakukan pewarnaan terlebih dahulu dilakukan penggelantangan (*bleaching*) menggunakan natrium hipoklorit, peroksida dan asam borat untuk memutihkan kain (Fauzi dkk.).

Jenis-jenis zat pewarna yang biasa digunakan di industri tekstil secara umum terdapat pewarna asam, pewarna reaktif, pewarna dispersi, pewarna langsung, pewarna dasar, pewarna *morbdant*, pewarna pigmen, dan lain sebagainya. Pewarna yang digunakan di industri tekstil PT. TCI menggunakan pewarna dispersi yang digunakan untuk kain jenis *polyester*, dalam pewarna dispersi ini mengandung

logam berat yang umum ditemukan yaitu krom (Cr), tembaga (Cu), kobalt (Co) dan nikel (Ni) (Zille, 2005).

Selain proses industri, terdapat juga aktivitas lain yang terjadi di industri tekstil yaitu pengolahan air limbah dan pembakaran bahan bakar berupa batu bara yang digunakan sebagai sumber energi untuk menjalankan proses produksi tekstil.

Pengolahan air limbah yang terjadi di industri tekstil secara umum yaitu terdapat pengolahan secara fisika, kimia maupun biologi yang bertujuan untuk menghilangkan pencemar yang ada pada air limbah yang akan meningkatkan kualitas dari air limbah yang dihasilkan agar aman saat dialirkan ke badan air penerima sesuai dengan regulasi yang berlaku (Junaidi dan Hatmanto, 2006). Pengolahan air limbah ini dilakukan di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang menghasilkan air limbah yang telah terolah dan *sludge* hasil dari pengendapan polutan-polutan yang terkandung pada air limbah.

Sumber energi yang umum digunakan pada industri tekstil yaitu batu bara, batu bara dilakukan pembakaran pada *boiler* yang kemudian uapnya digunakan untuk menjalankan mesin yang ada agar proses industri berjalan. Pembakaran batu bara tersebut dapat menghasilkan polutan berupa gas maupun jelaga. Gas yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara yaitu CO_2, CO, H_2O, NO_x dan SO_2 sedangkan jelaga yang dihasilkan berupa *fly ash* dan *bottom ash* (Prameswari, 2017).

Aktivitas – aktivitas tersebut menghasilkan limbah baik dalam bentuk padat, cair, maupun gas yang dapat mencemari lingkungan. Limbah yang dihasilkan pada industri tekstil dapat dilihat pada **Tabel 2.1** yang diklasifikasikan berdasarkan aktiftas yang ada di industri tekstil.

Tabel 2. 1 Limbah yang Dihasilkan di Industri Tekstil

No	Kegiatan	Limbah
1.	Proses Industri[1]	Limbah Padat (residu tekstil dari proses produksi pemintalan dan penganyaman)
2.	Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)[1]	Limbah Cair
		Sludge
3.	Pembakaran Batu Bara[2]	Gas (CO_2, CO, H_2O, SO_2)
		Bottom Ash & *Fly Ash*

Sumber: (1) Avelar dkk., 2016 ;(2) Prameswari, 2017

2.2 Sumber Energi

Sumber energi pada dasarnya dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu sumber energi yang tidak dapat diperbaharui (*non-renewable*) dan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*). Sumber energi yang tidak dapat diperbaharui merupakan salah satu sumber energi yang tidak dapat dibuat kembali oleh alam dalam waktu yang singkat seperti minyak bumi, gas alam, propane, batu bara dan uranium. Sumber energi yang dapat diperbaharui merupakan sumber energi yang dapat dibuat kembali oleh alam dengan proses yang berkelanjutan seperti matahari, angin, air, biomassa dan panas bumi (Kandi dan Winduono, 2012).

Penggunaan sumber energi yang ada pada masa kini merupakan sumber energi yang berasal dari fosil namun semakin berkurang karena tidak ditemukannya sumber cadangan yang baru dan penggunaan sumber energi fosil memilik dampak negatif terhadap manusia serta lingkungan. Pada masa ini penggunaan sumber energi yang dapat diperbaharui mulai digaungkan untuk mengganti penggunaan sumber energi yang tidak diperbaharui salah satunya dengan menggunakan limbah biomassa, potensi energi limbah biomassa yang dapat digunakan di Indonesia berdasarkan Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral pada tahun 2013 dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

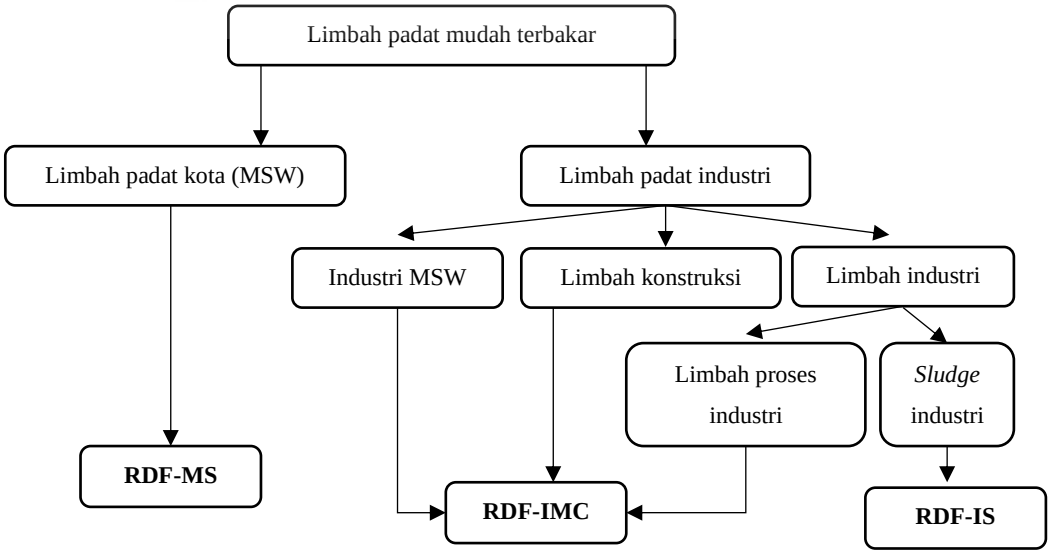
Tabel 2. 2 Potensi Limbah Biomassa Menjadi Listrik

No	Potensi Umum (MWe)	Unit	Total
1	Kelapa Sawit	MWe	12.654
2	Tebu	MWe	1.295
3	Karet	MWe	2.781
4	Kelapa	MWe	177
5	Padi	MWe	9.808

No	Potensi Umum (MWe)	Unit	Total
6	Jagung	MWe	1.733
7	Ubi Kayu	MWe	271
8	Kayu	MWe	1.355
9	Sapi	MWe	535
10	Sampah Kota	MWe	2.066
Total Potensi Umum		**MWe**	**32.654**

Sumber: Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2015

Selain jenis-jenis biomassa yang tercantum pada **Tabel 2.2**, biomassa yang memiliki potensi untuk digunakan sebagai energi yang dapat diperbaharui yaitu salah satunya *sludge* dari proses Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri. Pemanfaatan yang dapat dilakukan yaitu dengan menjadikan *sludge* sebagai bahan baku untuk *Refuse Derived Fuel* (RDF). RDF merupakan bahan bakar yang berasal dari berbagai limbah padat kota (*Municipal Solid Waste*), limbah industri atau limbah komersial yang dilakukan dengan memisahkan bagian yang tidak mudah terbakar dan merencanakan bagian yang mudah terbakar untuk selanjutnya dijadikan bahan bakar pada suatu pembakaran (EPA United States Environmental Protection Agency, 2019). Secara umum RDF dibagi menjadi 3 (tiga) klasifikasi yaitu RDF-MS (RDF dari *Municipal Solid Waste*), RDF IMC (RDF dari *Industrial, Municipal and Construction Wastes*) dan RDF-IS (RDF dari *Industrial Sludge*) (Dong dan Lee, 2009)



Gambar 2. 1 Diagram Proses Klasifikasi RDF
Sumber: Dong dan Lee, 2009

Penelitian terkait RDF-IS telah banyak dilakukan untuk menggantikan batu bara sebagai bahan bakar di industri. Salah satunya yaitu penggunaan *sludge* industri tekstil sebagai bahan baku untuk pembuatan RDF. Penelitian yang menggunakan *sludge* industri tekstil sebagai bahan baku dilakukan oleh Avelar (2016) yang dengan campuran residu dari industri tekstil, penelitian yang dilakukan oleh Bimantara dan Hidayah (2019) menggunakan *sludge* dari kawasan industri dengan campuran serbuk gergaji kayu serta penelitian yang dilakukan oleh Sudarsono dan Warmadewanthi (2010) yang menggunakan *sludge* dari kawasan industri PT. SIER dengan campuran komposit kulit kopi dan sampah plastik LDPE.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Avelar (2016) RDF atau briket yang terbuat dari *sludge* industri tekstil dengan residu dari industri tekstil dapat digunakan sebagai bahan baku untuk RDF dengan perbandingan yang digunakan yaitu 25% *sludge* dapat menghasilkan briket dengan kandungan volatil tinggi, *fixed carbon inggi*, nilai kalor yang lebih tinggi, kepadatan dan kuat tekan yang tinggi, serta rendahnya kandungan abu dan kadar air dengan tekanan kompaksi sebesar 6.205 kPa. Karakteristik briket yang dibuat oleh Avelar (2016) menggunakan 25% *sludge* dan residu dari industri tekstil dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2. 3 Karakteristik Briket Dengan Campuran 25% *Sludge* Tekstil

Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Volatil (%)	Fixed Carbon (%)	Nilai Kalor (MJ/kg)	Kepadatan (g/cm^3)	Kuat Tekan (kN)
11,04	12,51	77,35	10,15	18,15	1,18	1,93

Sumber: Avelar, 2016

Briket yang dibuat oleh Bimantara dan Hidayah (2019) menggunakan *sludge* dari kawasan industri dengan campuran serbuk gergaji kayu memberikan simpulan bahwa variasi terbaik didapatkan dengan perbandingan *sludge* dan serbuk gergaji yaitu 20:80 yang telah diayak sebelumnya sebesar 60 mesh serta telah dilakukan pengeringan terhadap *sludge*. Karakteristik briket yang dibuat oleh Bimantara dan Hidayah (2019) kemudian dibandingkan dengan SNI 4931 Tahun 2010, namun masih belum memenuhi kriteria. Karakteristik dari briket dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2. 4 Karakteristik Briket Dengan Campuran *Sludge* Kawasan Industri dan Serbuk Gergaji

Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Nilai Kalor (kal/g)
1,26	1,32	4.366,8

Sumber: Bimantara dan Hidayah, 2019

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Bimantara dan Hidayah (2019) semakin banyak kandungan *sludge* yang ditambahkan dalam briket maka semakin rendah nilai kalor yang dihasilkan sedangkan kadar abu dan kadar air yang terkandung dalam briket semakin tinggi.

Briket dengan variasi terabaik yang dibuat oleh Sudarsono dan Warmadewanthi (2005) yaitu briket dengan komposisi 32% plastik LDPE, 48% lumpur karbonisasi, dan 20% kulit kopi karbonisasi. Karakteristik dari briket dapat dilihat pada **Tabel 2.5**.

itenas library

Tabel 2. 5 Karakteristik Briket Dengan Campuran *Sludge* Kawasan Industri Karbonisasi, Kulit Kopi Karbonisasi, dan Plastik LDPE

Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	*Volatile Solids (%)*	Nilai Kalor (kal/g)
0,25	33,55	66,20	5.416,28

Sumber: Sudarsono dan Warmadewanthi, 2019

2.3 Briket

Briket merupakan suatu produk yang padat, rapat, dan memiliki kepadatan yang tinggi melalui proses penggunaan tekanan pada massa partikel (Li dan Liu dalam Avelar (2016)). Briket yang terbuat dari bahan organik lebih umum disebut sebagai biobriket. Biobriket merupakan bahan bakar alternatif yang terbuat dari sisa bahan organik dengan campuran bahan perekat serta memiliki daya tekan tertentu yang kadar airnya dihilangkan untuk memperbaiki karakteristik biomassa. Biobriket merupakan bahan bakar komposit yang terdiri dari biomassa (<2 mm) dan batu bara (<2 mm) yang dihasilkan oleh mesin briket tekanan tinggi, rasio campuran yang digunakan untuk membuat biobriket yaitu batu bara 70-90% serta 10-30% biomassa berdasarkan bobot. Batu bara yang mengandung sulfur dapat diberikan

penambahan batu kapur dengan 1-2 ke dalam campuran untuk menghilangkan kandungan sulfur. Biobriket yang dihasilkan dari pencampuran ini memiliki efisiensi pembakaran yang tinggi, kemampuan untuk menyala serta mudah terbakar sehingga emisi asap yang dihasilkan dari pembakaran sedikit dan meningkatkan penghematan energi (Yokoyama, 2008).

Pembuataan briket perlu memperhatikan beberapa komponen, menurut Faizal (2017) komponen yang perlu yang diperhatikan yaitu bahan baku dan bahan pengikat. Bahan baku yang diperlukan untuk membuat suatu briket yaitu bahan organik berupa selulosa. Selulosa merupakan kandungan pada biomassa yang tersusun tas karbon yang dapat mempengaruhi kadar karbon terikat pada briket arang, sehingga semakin tinggi kandungan selulosa maka kadar karbon terikat akan semakin besar (Satmoko dkk., 2013). Kadar karbon terikat semakin besar mengakibatkan semakin tinggi nilai kalor yang dihasilkan sehingga kualitas briket yang dihasilkan akan semakin baik.

Bahan pengikat atau perekat merupakan salah satu bahan yang diperlukan dalam pembuatan briket, dengan penggunaan bahan perekat parikel-partikel zat yang ada pada bahan baku dapat melekat. Perekat yang ditambahkan dalam briket dapat meningkatkan sifat fisik dari briket. Penambahan perekat dapat mempengaruhi nilai kalor briket pada saat proses pembakaran dengan takaran perekat yang sesuai dapat meningkatkan nilai kalor pada briket, selain itu dengan menambahkan perekat pada briket akan mempengaruhi kualitas briket baik untuk kadar air, nilai kalor, kadar abu, kerapatan serta ketahanan tekanan (Muzi dan Mulasari, 2014; Pane dkk., 2015). Syarat-syarat dari bahan perekat yang akan digunakan yaitu:

1. Memiliki gaya kohesi yang baik
2. Mudah terbakar dan tidak berasap
3. Mudah diperoleh dan murah
4. Tidak berbau, tidak beracun dan tidak berbahaya.

Berdasarkan Sulistyanto (2006) dalam Ristianingsih dkk (2015) terdapat 2 (dua) jenis bahan baku umum yang digunakan untuk bahan perekat pada pembuatan briket, antara lain:

a. Perekat anorganik

Perekat anorganik dapat menjaga ketahanan briket selama dilakukan pembakaran sehingga permeabilitas bahan bakar tidak terganggu, perekat anorganik diantaranya semen, lempung, natrium.

b. Perekat organik

Perekat organik merupakan bahan perekat yang efektif karena setelah dilakukan pembakaran akan menghasilkan abu yang relatif sedikit, perekat organik diantaranya kanji, aspal, amilum, molase, dan paraffin.

Perekat organik berupa tepung kanji mengandung senyawa amilum. Amilum merupakan suatu senyawa yang terdapat pada tanaman yang merupakan hasil produk dari proses fotosintesis, selain itu amilum juga dapat ditemukan pada cadangan makanan tanaman seperti biji, jari-jari teras, kulit batang, akar tanaman dan umbi. Penambahan konsentrasi perekat berupa tepung kanji dalam briket berpengaruh terhadap kualitas briket yang dihasilkan yaitu semakin sedikit konsentrasi perekat yang ditambahkan maka kadar air briket semakin rendah serta meningkatkan nilai kalor, sedangkan semakin besar konsentrasi perekat yang ditambahkan kandungan *fixed carbon* akan menurun dan *volatile matter* serta kadar abu pada briket akan meningkat (Ristianingsih dkk., 2015; Seo dkk., 2017).

Peningkatan nilai kalor berdasarkan Ismayana (2011) dan Manik (2010) dalam Pane dkk (2015) disebabkan bahan perekat mengandung unsur C yang dapat meningkatkan nilai kalor briket, penambahan konsentrasi perekat meningkatkan kandungan kadar air pada briket hal ini disebabkan terakumulasi kandungan air pada bahan perekat terhadap kadar air total dalam briket (Pane dkk., 2015).

2.3.1 Ketentuan Kualitas Briket Sebagai Bahan Bakar Berdasarkan Regulasi

Bahan baku yang akan digunakan sebagai bahan bakar alternatif terlebih dahulu ditinjau sesuai dengan standar atau regulasi yang berlaku di negara masing-masing.

Pemanfaatan limbah B3 yang akan digunakan sebagai bahan baku bahan bakar perlu memenuhi syarat yang tercantum pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 18 Tahun 2020 Tentang Pemanfaatan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (PerMenLH 18/2020) yang tertera pada pasal 5 dan Lampiran I terkait persyaratann teknis khusus yang mengatur pemanfataan limbah B3 sebagai substitusi sumber energi, ketetentuan penggunaan limbah B3 sebagai sumber substitusi berdasarkan PerMenLH 18/2020 pada pasal 5 dapat dilihat pada **Tabel 2.6**.

Tabel 2. 6 Ketentuan Pemanfaatan Limbah B3 Sebagai Substitusi Bahan Bakar

No	Keterangan	Ketentuan
1.	Kandungan Kalori[1]	≥ 2.500 kkal/kg (berat kering)
		≥ 1.000 kkal/kg (berat basah)
2.	Kandungan Total Organik Halogen/TOX (jumlah organik chlor dan fluor)[1]	Paling tinggi 2% (berat kering)
3.	Kandungan Sulfur[1]	Paling tinggi 1 % (berat kering)
4.	Kadar Air[2]	≤ 15%

Sumber: (1) Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 18 Tahun 2020; (2) Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 02 Tahun 2008

Selain berdasrkan pasal 5 terdapat hal-hal lain yang perlu dipenuhi untuk menggunakan limbah B3 sebagai bahan baku bahan bakar pada PerMenLH 18/2020 yang tertera pada Lampiran I terkait persyaratan teknis khusus yang mengatur pemanfataan limbah B3 sebagai substitusi sumber energi, persyaratan-persyaratan tersebut antara lain:

1. Mencantumkan jenis serta kode limbah B3 yang akan dimanfaatkan sebagai substitusi sumber energi (*alternative fuel*/AF) pada teknologi termal (tanur, boiler, dll);
2. Mencatumkan sumber limbah B3;
3. Mencatumkan hasil uji laboratorium terkait kandungan logam berat arsen (As), kadmium (Cd), kromium (Cr), timbal (Pb), dan merkuri (Hg) yang ketentuannya harus memenuhi pada **Tabel 2.7**.

Tabel 2. 7 Ketentuan Kandungan Logam Berat

No	Parameter Total Konsentrasi	Kriteria
1.	Arsen, As	≤ 5 ppm
2.	Kadmium, Cd	≤ 2 ppm
3.	Kromium, Cr	≤ 10 ppm
4.	Timbal, Pb	≤ 100 ppm
5.	Merkuri, Hg	≤ 1,2 ppm

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 18 Tahun 2020

4. Mencamtukan peralatan untuk kegiatan pemanfataan limbah B3 yaitu spesifikasi alat, jumlah alat, kapasitas terpasang yang mampu memanfaatkan Limbah B3 dalam kurun waktu masa penyimpanan limbah B3 dan bahan bakar tungku;
5. Komposisi penggunaan limbah B3 yang akan dimanfaatkan untuk selanjutnya dicampurkan dengan bahan bakar utama;
6. Perhitungan jumlah limbah B3 yang dibutuhkan untuk menghasilkan produk bahan bakar (AF) berdasarkan kondisi alat terpasang;
7. Hasil uji emisi udara memenuhi baku mutu emisi sesuai dengan relugasi yang berlaku.

Kualitas dari briket selanjutnya ditinjau berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI). SNI di Indonesia masih belum mengatur terkait penggunaan *sludge* sebagai bahan baku bahan bakar, namun berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Bimantara dan Hidayah (2019) serta Sudarsono dan Warmadewanthi (2005) briket yang mengandung *sludge* kemudian dibandingkan dengan SNI 4931 tahun 2010 tentang Briket Batu Bara dan SNI 01-6235 tahun 2000 tentang Briket Arang Kayu yang secara umum digunakan untuk menentukan kualitas briket yang mengandung biomassa.

Penentuan standar kualitas briket yang baik yaitu mengacu ke SNI 4931 tahun 2010 tentang Briket batubara klasifikasi, syarat mutu dan metode pengujian. Briket diklasifikasikan menjadi 2 (dua) kelas yaitu Kelas A dan B dengan jenis briket yang dilakukan karbonisasi dan tanpa dilakukan karbonisasi. Klasifikasi briket batubara berdasarkan nilai kalor dan ukuran ketebalan tipe briket lebih lanjut dapat dilihat pada **Tabel 2.8**.

Tabel 2. 8 Klasifikasi Briket Batu Bara Berdasarkan Nilai Kalor dan Ukuran Ketebalan Tipe Briket

No	Nilai Kalor (kal/g, adb*)		Ukuran Ketebalan (mm)		
	Briket batubara terkabonisasi	**Briket batubara tanpa-karbonisasi dan bio-batubara**	**Sarang tawon**	**Bantal/telur**	**Kenari**
A	>6000	5000 – 6000	≥ 125	≥ 49	≥ 26
B	4500 – 6000	4000 – 5000			

Keterangan: (*) Air dried basis
Sumber: SNI 4931 Tahun 2010

Briket yang dilakukan karbonisasi yaitu dapat dilakukan dengan 2 (dua) cara menurut SNI 4931 Tahun 2010 yaitu briket yang dibuat semikokas (*char*) atau batubara yang telah dikarbonisasi pada suhu rendah (450 – 750°C) dengan menggunakan bahan pengikat dan briket dibentuk dari serbuk batubara atau tanpa bahan pengikat dan dikarbonisasi pada suhu rendah (450 – 570°C). Karbonisasi merupakan proses pemanasan batubara yang dilakukan pada suhu antara 450-750°C yang berguna untuk memproduksi bahan bakar tak berasap. Briket tanpa-karbonisasi yaitu briket yang dibuat dari batubara wantah (*raw coal*), persyaratan mutu briket batubara lebih lanjut dapat dilihat pada **Tabel 2.9**.

Tabel 2. 9 Persyaratan Mutu Briket Batu Bara Berdasarkan SNI 4931 Tahun 2010

No	Jenis Uji	Syarat				Metode Uji	Keterangan
		Briket batubara terkarbonisasi		**Briket batubara tanpa-karbonisasi dan bio-batubara**			
		A	**B**	**A**	**B**		
Sifat Mekanik							
1	Beban pecah, kg/briket	>100	80-100	>60	50 -60	SNI 03-3958-1995	
Sifat Kimia							
1	Kadar belerang total*, %adb	≤ 1	≤ 1	≤1	≤ 1	SNI 13-3841-1994	
2	Kadar abu, %adb	≤ 15	≤ 20	≤ 20	≤ 20	SNI 13-3478-1994	
3	Kadar air lembap, %adb	≤12	≤12	≤17	≤17	SNI 13-3477-1994	

No	Jenis Uji	Syarat				Metode Uji	Keterangan
		Briket batubara terkarbonisasi		Briket batubara tanpa-karbonisasi dan bio-batubara			
		A	B	A	B		
4	Kadar zat terbang, %adb	≤22	≤22	Sesuai dengan batubara asal	Sesuai dengan batubara asal	SNI 13-3999-1995	

Catatan *tanpa penambahan kapur

Keterangan: A dan B adalah klasifikasi jenis briket berdasarkan nilai kalor
Sumber: SNI 4931 Tahun 2010

Penentuan standar kualitas briket untuk briket biomassa mengacu pada SNI 01-6235 tahun 2000 tentang briket arang kayu, kualitas dari briket yang telah dibuat dapat dilihat pada **Tabel 2.10**.

Tabel 2. 10 Spesifikasi Persyaratan Mutu Briket Arang Kayu

No	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
1.	Kadar air b/b	%	Maksimum 8
2.	Bagian yang hilang pada pemanasan 950 ^{o}C	%	Maksimum 15
3.	Kadar abu	%	Maksimum 8
4.	Kalori (ADBK)	kal/g	Minimum 5.000

Sumber: SNI 01-6235 Tahun 2000

Standar penentuan kualitas briket untuk briket batubara memiliki persyaratan yang beragam dibandingkan briket arang kayu, hal ini ditunjukkan dengan adanya pembagian klasifikasi dari briket yang dihasilkan.

2.3.2 Kualitas Bahan Bakar

Penentuan kualitas briket dan bahan baku yang akan digunakan sebagai bahan baku bakar alternatif perlu dilakukan identifikasi geokimia dari briket dan bahan baku tersebut. Kualitas dari bahan bakar akan sangat berperan terhadap peralatan PLTU yang ada di industri tersebut. Berdasarkan Sukandarrumidi (1995) dalam Lestari., dkk (2016) faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas dari bahan baku bahan bakar terutama batu bara dipengaruhi oleh:

- *High Heating Value* (HHV)
- *Moisture Content*
- *Sulphur Content*
- *Coal Size*

- *Volatile Matter*
- *Fixed Carbon*
- *Ash Content*
- *Hardgrove Grindability Index* (HGI)
- *Ash Fushion Temperature*

Secara umum karakteristik dari suatu bahan bakar dapat dilihat berdasarkan *proximate analysis*, *ultimate analysis*, dan nilai kalor. *Proximate analysis* merupakan pengujian yang meliputi kadar air, kadar abu (residu inorganik yang tertinggal setelah pembakaran), zat terbang/*volatile matter* (mengandung gas serta uap yang terbentuk saat pirolisis), dan karbon tetap/*fixed carbon* (fraksi non-volatil) (Speight, 2005). *Ultimate analysis* merupakan persentasi dasar dari C (*carbon*), S (*sulfur*), H (*hydrogen*), N (nitrogen), dan O (oksigen). Pada kajian ini yang ditinjau yaitu *proximate analysis*, nilai kalor, dan kandungan total sulfur pada bahan baku serta briket yang dibuat.

A. Kadar Air

Kadar air (*moisture content*) merupakan sifat fisis yang menunjukkan kandungan air yang ada pada suatu bahan. Kadar air yang tinggi dapat menurunkan nilai kalor pada briket hal ini disebabkan energi yang seharusnya digunakan untuk pembakaran dijadikan untuk menguapkan air yang terkandung pada briket selain itu dapat merusak stabilitas briket (mudah hancur) serta briket mudah ditumbuhi jamur (Miharja, 2018; Sukarta dan Ayuni, 2016).

B. Kadar Abu

Kadar abu merupakan zat anorganik sisa pembakaran sempurna briket berupa mineral, pasir atau *clay* yang merupakan mineral yang tidak dapat terbakar lagi karena karbon telah dikonversi menjadi bentuk energi dan mengandung senyawa oksida dan sulfat (Speight, 2005).

Kandungan abu secara umum dikelompokkan menjadi 3 (tiga) kelompok yaitu *major elements* (elemen yang konsentrasi >0,5%), *minor elements* (elemen yang konsentrasi pada rentang 0,02 sampai dengan 0,5%), dan *trace elements* (kandungan inorganik yang konsentrasinya <0,02%) (Speight, 2005). Kandungan

abu *bottom ash* terbentuk dalam bentuk padatan yang berubah senyawanya menjadi senyawa oksida seperti SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, MnO, CaO, Fe_2O_3, MgO, K_2O, Na_2O, P_2O serta unsur oksida lainnya yang tidak terbakar saat proses pembakaran.

Unsur yang paling berpengaruh yaitu silika (Si), silika dapat mempengaruhi nilai kalor pada briket yang dibuat yaitu semakin tinggi kandungan abu pada briket maka semakin rendah kualitas yang dibuat (Ndraha, 2009 dalam Ristianingsih dkk., 2015). Briket yang memiliki kandungan kadar abu yang tinggi serta mengandung oksida alkali yang tinggi dapat memicu terbentuknya kerak berupa *slagging* dan *fouling* saat dilakukan pembakaran selain itu dapat menurunkan nilai kalor briket sehingga menurunkan kualitas briket (Faizal dkk., 2015; Miharja, 2018; Speight, 2005).

C. Zat Terbang (*Volatile Matter*)

Zat terbang (*volatile matter content*) merupakan senyawa organik dan anorganik yang akan menguap apabila dipanaskan pada kondisi 950 ^{o}C. Zat terbang pada briket yang dibentuk akan mempengaruhi faktor ignisi bakar briket serta intensitas nyala briket, semakin kecil kandungan zat terbang pada briket maka ignisi pembakaran dari briket akan semakin besar serta kualitas briket akan semakin baik selain itu gas serta asap pembakaran yang dihasilkan akan semakin sedikit (Miharja, 2018), sedangkan semakin tinggi kandungan kadar air pada briket akan meningkatkan kandungan zat terbang yang dapat mengakibatkan asap saat briket dinyalakan hal ini dikarenakan adanya reaksi antara karbon monoksida (CO) dengan turunan alkohol (Pane dkk., 2015; Ristianingsih dkk., 2015). Nilai *volatile matter* 15-25% lebih baik untuk kandungan briket karena asap yang dihasilkan lebih sedikit (Faizal dkk., 2015).

D. Karbon Tetap (*Fixed Carbon*)

Karbon tetap (*fixed carbon*) merupakan material/karbon yang tersisa dari pengukuran kadar air, zat terbang dan kandungan abu saat pembakaran berlangsung, karbon tetap mengindikasikan arang yang dihasilkan dari bahan bakar (Speight, 2005; Sukarta dan Ayuni, 2016). Nilai dari *fixed carbon* tidak sama

dengan kandungan total karbon karena total korban menunjukkan kandungan karbon pada bahan baku dalam kondisi normal sedan kan *fixed carbon* ditentukan berdasarkan bahan bakar yang telah dibakar pada suhu 900 ^{o}C (Battle dkk., 2014). *Fixed carbon* secara umum mengandung karbon namun mengandung juga sedikit hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur yang tidak terkonversi menjadi gas saat pembakaran terjadi (Sarkar, 2015).

Kandungan *fixed carbon* yang lebih tinggi lebih diperlukan dan dibutuhkan dalam bahan bakar karena merupakan komponen utama yang berkontribusi kepada nilai kalor bersamaan dengan *volatile matter* (Battle dkk., 2014; Sarkar, 2015). Semakin tinggi kandungan *fixed carbon* pada briket maka nilai kalor pun akan semakin tinggi. Menurut Raju (2014) dalam Pane dkk (2015) kandungan *fixed carbon* yang semakin rendah dalam briket akan membuat briket menjadi lama untuk menyala karena kandungan air atau kadar abu pada briket tinggi.

Perhitungan *fixed carbon* dihitung berdasarkan selisih 100% dengan kadar air, kadar abu dan kadar bahan volatile sehingga fluktuasi yang terjadi pada *fixed carbon* dipengaruhi oleh kandungan-kandungan tersebut (Pane dkk., 2015).

Itenas library

E. Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan panas yang dihasilkan dari pembakaran yang dijelaskan dalam bentuk kalor yang terdapat pada suatu bahan (Speight, 2005). Semakin tinggi nilai kalor maka bahan tersebut mudah terbakar dan memiliki waktu lama untuk terbakar, selain itu nilai kalor yang relatif tinggi dapat menghasilkan api reduksi saat proses pembakaran briket. Api reduksi merupakan api yang menghasilkan nyala biru dengan temperatur yang lebih tinggi dengan menghasilkan asap/gas rendah dibandingkan dengan dengan api oksidasi yang ideal antara bahan bakar dan oksigen yang digunakan (Miharja, 2018). Menurut Daniel (2007) dalam Junary (2015), nilai kalor berbanding terbalik dengan kandungan kadar air yang menyebabkan peningkatan nilai kalor apabila terjadi penurunan kandungan kadar air.

F. Total Sulfur

Total sulfur merupakan komponen materi organik serta anorganik yang berada pada total sulfur suatu sampel (Tambaria dan Serli, 2019). Menurut Nurlela (2019) terdapat 3 (tiga) macam bentuk sulfur antara lain:

a. *Pyritic Sulfur* (FeS_2) yang terkandung dalam total sulfur sebanyak 20-80% serta memiliki kaitan dengan abu batubara.
b. *Organic Sulfur* merupakan sulfur yang terikat secara kimia dengan substansi atau zat-zat lain
c. *Sulphate* yang terdiri dari kalsium sulfat dan besi sulfat.

Sulfur merupakan unsur yang penting untuk diidentifikasi pada bahan bakar untuk pengontrolan pada emisi dari oksida sulfur, bahan bakar yang mengandung sulfur tinggi dapat memicu pembentukan korosi serta *slagging* pada alat pembakaran (Speight, 2005). Pembakaran yang terjadi pada PLTU dapat menghasilkan keluaran gas berupa CO_2, CO, H_2O, dan SO_2. Reaksi – reaksi yang terjadi antara lain:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + \text{energi panas}$$

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

$$N_2 + O_2 \rightarrow NO_x$$

$$S + O_2 \rightarrow SO_2$$

Sulfur dioksida (SO_2) yang terbentuk dari hasil pembakaran batubara akan membentuk asam apabila berinteraksi dengan air dan oksigen yang berada didalam *boiler*, reaksi yang terjadi yaitu:

$$2SO_2 + 2H_2O + O_2 \rightarrow H_2SO_4$$

G. *Loss on Ignition* (LOI)

Loss on ignition (LOI) merupakan hubungan antara nilai LOI dengan kandungan organik serta kandungan inorganik karbon untuk kandungan organik dan mineral karbonat yang terkandung pada sedimen (Santisteban dkk., 2004). Pada suhu 200°C kandungan organik mulai terbakar dan pada suhu 500-550 ^{o}C kandungan organik mulai hilang teroksidasi menjadi CO_2 dan abu, selanjutnya pada suhu 900-1.000^{o}C

mineral karbonat yang terkandung pada sampel mulai hancur dan hilang (Heiri dkk., 2001; Santisteban dkk., 2004)

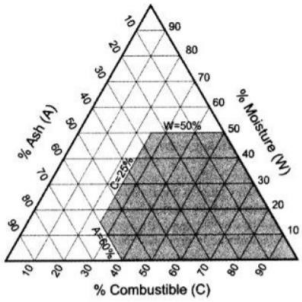
2.4 *Tanner* Diagram

Tanner diagram merupakan diagram yang umum digunakan untuk melakukan penilaian untuk penentuan kesesuaian bahan bakar saat dilakukan pembakaran terutama bahan bakar yang terbuat dari limbah rumah tangga (*municipal solid waste*) (Dolgen dkk., 2005). Penggunaan *tanner* diagram dimaksudkan untuk bahan bakar yang terdapat limbah rumah tangga karena tergolong bahan bakar yang tidak homogen yang berbeda dari bahan bakar fosil sehingga untuk mengukur kandungan kalori akan rumit dan dapat memberikan galat yang besar (Taşpınar dan Uslu, 2018).

Bahan bakar secara umum layak untuk dibakar tanpa bahan bakar tambahan (*auxiliary fuel*) saat ketentuan-ketentuan berikut ini berlaku:

- Kandungan kadar air (W) < 50%
- Kandungan kadar abu (A) < 60%
- Kandungan yang mudah terbakar (perbedaan antara padatan kering dan kandungan abu) (C) > 25%

Ketentuan-ketentuan berikut kemudian dimasukkan kedalam *tanner* diagram dan apabila masuk kedalam zona abu maka bahan bakar tersebut dapat dibakar tanpa bahan bakar tambahan, kandungan yang mudah terbakar (*combustible matter*) merupakan hasil pembakaran berupa gas (*volatile matter*) dan *fixed carbon*. *Tanner* diagram berdasarkan Taşpınar dan Uslu (2018) dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2. 2 *Tanner* Diagram
Sumber: Taşpınar dan Uslu, 2018

2.5 Dioksin (PCDD) dan Furan (PCDF)

Dioksin dan furan merupakan senyawa yang tergolong kedalam polutan organik persisten atau lebih dikenal sebagai *persistent organic pollutants* (POPs) yang memiliki sifat toksik, persisten dan dapat teakumulasi pada lemak hewan serta manusia (Afdila, 2019; Križanec dkk., 2005). Dioksin memiliki anggota polutan lainnya yaitu berupa *polychlorinated dibenzo-p-dioxins* (PCDD) dan *polychlorintaed dibenzofuran* (PCDF) yang kedua senyawa tersebut memiliki kesamaan fungsi dan struktur yang dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.

(a) (b)

Gambar 2. 3 (a) *polychlorintaed dibenzo-p-dioxins* dan (b) *polychlorinated dibenzofuran*
Sumber: Križanec dkk, 2005

Dioksin /furan secara umum terbentuk dari dua sumber yaitu sumber alami yang berasal dari erupsi gunung berapi serta pembakaran hutan sedangakan sumber antropolgi secara umum berasal dari hasil samping pembakaran insinerator yang menggunakan bahan baku mengandung klor seperti bahan organik atau penggunaan sampah yang mengandung plastik karena plastik memiliki kandungan khlor (Afdila, 2019; Warlina dkk., 2008)

Dampak dari dioksin dan furan pada makhluk hidup yaitu pada paparan yang rendah akan mengakibatkan kanker, kerusakan pada sistem saraf, penyakit imun dan kelainan reproduksi selain itu juga dioksin bersifat karsinogenik dan teratogenik (Afdila, 2019; Križanec dkk., 2005).

2.6 Proses Terjadinya *Slagging* dan *Fouling*

Pembentukan kerak yang terjadi pada *boiler* karena tingginya kandungan abu dapat diukur menggunakan indeks *slagging* dan *fouling*. *Slagging* dan *fouling* merupakan

melekatnya serta menumpuknya abu sisa pembakaran pada pipa ataupun *boiler* (Prameswari, 2017). Masalah ini juga sering disebut sebagai *clinker trouble*.

Slagging terjadi pada bagian terdingin *boiler*. *Inorganic volatile* kondensar akan melekat yang selanjutnya deposit terbentuk. Partikel-partikel yang meleleh akan mengalami pendinginan dan akan membentuk deposit pada permukaan terdingin *boiler*, deposit yang menebal akan menghalangi proses pemindahan panas dari *flue gas* ke air atau *steam* di dalam *tube*. Karakteristik dari *slagging* dapat ditentukan berdasarkan suhu lebur abu (AFT) serta dari kondisi abu. Pembentukan *slagging* dapat terjadi apabila suhu lebur dari abu rendah dan dapat dilihat berdasarkan rasio unsur alkali (CaO, Fe_2O_3, MgO, K_2O, Na_2O) terhadap unsur asam (SiO_2, Al_2O_3, TiO_2), apabila nilai rasio dari perbandingan tersebut tinggi maka potensi pembentukan *slagging* akan semakin besar (Prameswari, 2017).

Kerak berupa abu yang menempel serta menumpuk pada pipa penghantar gas merupakan salah satu masalah yang disebut sebagai *fouling. Fouling* merupakan partikel yang terakumulasi pada aliran keluar di *flue gas*, yaitu aliran yang melewati permukaan *superheater*, *reheater* dan aliran pipa penguapan. Kondisi *fouling* dapat menyebabkan beberapa masalah seperti menurunnya kinerja *boiler*, merusak pipa pada *boiler* serta masalah pada penghantaran panas (Hendri dkk., 2018). Material basa berupa Na yang terukur dalam kandungan Na_2O merupakan unsur yang paling berpengaruh dalam penempelan abu (Al-Latif dkk., 2019; Prameswari, 2017). *Fouling* dapat terjadi dan akan tinggi apabila abu yang dihasilkan dari pembakaran banyak, unsur basa pada kandungan abu tinggi serta kandungan Na_2O tinggi (Prameswari, 2017).

Penentuan *slagging* dan *fouling* dilakukan berdasarkan metode *Babcock and Wilcox* yang dijelaskan oleh Al-Latif dkk (2019) yaitu abu batubara dikelompokkan sesuai dengan tipe abu yaitu abu bituminous dan abu lignit. Berdasarkan hal tersebut untuk penentuan tipe abu dapat dilihat pada persamaan berikut:

1. Abu tipe bituminous → $CaO + MgO < Fe_2O_3$
2. Abu tipe lignit → $CaO + MgO > Fe_2O_3$

Setelah telah dilakukan penentuan tipe abu dilakukan perhitungan *base acid ratio*, *base acid ratio* merupakan senyawa basa yang memiliki titik leleh yang rendah sedangkan senyawa asam memiliki titik leleh yang lebih tinggi dengan penentuan hal tersebut *base acid ratio* dapat menentukan kecenderungan terjadinya *slagging* dan *fouling* (Febrero dkk., 2015). Persamaan serta indeks penentuan *base acid ratio*, *slagging* dan *fouling* menggunakan metode *Babcock and Wilcox* berdasarkan Al-Latif dkk (2019) dapat dilihat pada **Tabel 2.11**.

Tabel 2. 11 Persamaan dan Indeks *Base Acid Ratio, Slagging* dan *Fouling* Berdasarkan Metode *Babcock and Wilcox*

Nama	Persamaan	*Approximate range*
Base to Acid Rasio	$B/A = \frac{Fe_2O_3+CaO+MgO+Na_2O+K_2O}{SiO_2+Al_2O_3+TiO_2}$	R < 0,5 rendah R > 0,5 sedang – sangat tinggi
Abu Tipe Bituminus		
Indeks *Slagging*	$R_s = (B/A) \times \%S$	R_s < 0,6 rendah R_s = 0,6 – 2,0 sedang R_s = 2,0 – 2,6 tinggi R_s > 2,6 sangat tinggi
Indeks *Fouling*	$R_f = R \times \%Na_2O$	R_f < 0,2 rendah R_f = 0,2 – 0,5 sedang R_f = 0,5 – 1,0 tinggi R_f > 1,0 sangat tinggi
Abu Tipe Lignit		
Indeks *Slagging*	R_s = [(Max HT) + 4(Min IT)]/5	R_s > 1.340 rendah R_s = 1.230 – 1.340 medium R_s = 1.150 – 1.230 tinggi R_s < 1.150 sangat tinggi
Indeks *Fouling*(*)	$CaO + MgO + Fe_2O_3$ > 20%	R_f < 3 rendah – sedang 3 < R_f < 6 tinggi R_f > 6 sangat tinggi
	$CaO + MgO + Fe_2O_3$ < 20%	R_f < 1,2 rendah – sedang 1,2 < R_f < 3 tinggi R_f > 3 sangat tinggi

Sumber: Al-Latif dkk (2019); (*) Amaliyah dan Fachry (2011)

2.7 Karakteristik *Sludge* IPAL Industri Tekstil

Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) memberikan produk samping berupa *sludge* (lumpur) yang termasuk limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun). *Sludge* industri tekstil berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 Tentang Pengelolaan Limbah B3 termasuk kedalam limbah B3 dengan kode B322-3 dengan kategori bahaya 2 (dua) dan berasal dari limbah spesifik umum.

Karakteristik dari *sludge* IPAL dipengaruhi oleh sumber serta proses produksi yang dilakukan di industri tekstil yang dapat mempengaruhi kondisi fisik dan komposisi kimia pada *sludge* yang dihasilkan. Karakteristik *sludge* industri tekstil secara fisik berdasarkan Easha dkk (2015) terhadap *sludge* industri tekstil di Bnagladesh dapat dilihat pada **Tabel 2.12**.

Tabel 2. 12 Karakteristik Fisik dari *Sludge* Industri Tekstil di Bangladesh

Parameter	Kondisi
Kondisi Fisik	Tidak berbentuk butiran
Warna	Abu tua kehitaman
Bau	Ada Bau
Kandungan Air	Sekitar 80%

Sumber: Easha dkk (2015)

Karakteristik *sludge* industri tekstil berdasarkan analisis proksimat untuk tiap industri menunjukkan hasil yang beragam. Analisis proksimat pada berbagai *sludge* industri tekstil di dunia yang diteliti oleh Avelar dkk (2016), Lin dkk (2014), Gebremedhin (2018), Rahman dkk (2017) dan Easha dkk (2015) dapat dilihat pada **Tabel 2.13**.

Tabel 2. 13 Analisis Proksimat Dari Berbagai *Sludge* Industri Tekstil

Parameter	Avelar dkk (2016)	Lin dkk (2014)	Gebremedhin (2018)	Rahman dkk (2017)	Easha dkk (2015)
Kadar Air (%)	8,7	-	82,5	35 – 75,64	80
Kadar Abu (%)	11,8	47,71	44	-	-
Volatile Matter (%)	81	44,71	48,4	35,95	-
Fixed Carbon (%)	7,21	7,58	7,6	-	-

Sumber: Avelar dkk (2016); Lin dkk (2014); Gebremedhin (2018); Rahman dkk (2017); Easha dkk (2015)

Berdasarkan analisis proksimat pada **Tabel 2.13** kandungan kadar air pada *sludge* industri tekstil yang diteliti oleh Avelar dkk (2016) lebih rendah dibandingkan dengan yang lainnya, hal ini disebabkan kadar air yang diukur merupakan kadar air setelah *sludge* diberikan perlakuan berupa pengeringan diluar ruangan. Kandungan kadar abu yang tinggi ditemukan pada *sludge* industi tekstil yang diteliti oleh Lin

dkk (2014) dan Gebremedhin (2018). Kandungan volatil yang tinggi pada *sludge* industri tekstil menunjukkan tingginya kandungan organik pada *sludge* (Gebremedhin, 2018).

Kandungan nilai kalor pada *sludge* industri tekstil yang diteliti oleh Gebremedhin (2018) memiliki nilai kalor sebesar 1.820,32 kkal/kg sedangkan nilai kalor *sludge* industri tekstil yang diteliti oleh Avelar dkk (2016) memiliki nilai kalor yang lebih tinggi yaitu sebesar 21,8 MJ/kg atau 5.210,325 kkal/kg.

Analisis ultimat pada *sludge* industri tekstil yang diteliti oleh Avelar dkk (2016) dapat dilihat pada **Tabel 2.14**.

Tabel 2. 14 Analisis Ultimat pada *Sludge* yang Diteliti Oleh Avelar dkk

Parameter	Keterangan
C (%)	46,7
H (%)	6,5
N (%)	6,2
S (%)`	1,3
O (%)	27,5

Sumber: Avelar dkk (2016)

Berdasarkan **Tabel 2.14** kandungan sulfur pada *sludge* yang diteliti oleh Avelar dkk (2016) mencapai 1,3% sedangkan pada *sludge* yang diteliti oleh Easha dkk (2015) di Bangladesh memiliki kandungan sulfur sebesar 0,013%. Hal ini dapat terjadi karena perbedaan kondisi eksisting serta proses produksi dari setiap industri tekstil.

Selain berdasarkan analisis proksimat, analisis ultimat dan nilai kalor karakteristik *sludge* dapat dilihat berdasarkan komposisi kimia. Karakteristik umum yang terkandung pada *sludge* antara lain zat organik yang tinggi, mengandung unsur-unsur makro (C, P, K, Ca, Mg dan S), unsur mikro (Fe, Mn, Cu, Zn, B dan Mo), nitrogen, pewarna dan logam berat (Cr, Cd, Pb, Hg, Ni, dan As) (Avelar dkk., 2016; Jahari, 2018). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Gebremedhin (2018) komposisi kimia pada *sludge* industri tekstil dapat dilihat pada **Tabel 2.15**.

Tabel 2. 15 Komposisi Kimia pada *Sludge* Industri Tekstil

Mineral	Kandungan (%)
CaO	2,56
SiO_2	16,10
Al_2O_3	21,40
Fe_2O_3	2,32
MgO	1,51
SO_3	0,94
LOI	51,3

Sumber: Gebremedhin (2018)

Kandungan logam yang terdapat pada *sludge* industri tekstil secara umum yang ditemukan mengandung logam Cr, Cd, Pb, Hg, Ni, As, Cu, Zn, Fe, dan Pb. Kandungan logam berat pada *sludge* yang diteliti oleh Gebremedhin (2018), Avelar dkk (2016), dan Anwar dkk (2017) dapat dilihat pada **Tabel 2.16**.

Tabel 2. 16 Logam Berat pada Berbagai *Sludge* Industri Tekstil

Logam Berat (mg/kg)	Gebremedhin (2018)	Avelar dkk (2016)	Anwar dkk (2017)
Cu	5,23	1.027	58
Zn	30,45	113,5	130,6
Fe	323,63	823,0	
Pb	2,25		12
Mn		40,7	
Cr			10
Ni			32
Al			76
Cd			5,6

Sumber: Gebremedhin (2018); Avelar dkk (2016); Anwar dkk (2017)

Kandungan logam berat pada *sludge* dari berbagai industri tekstil menunjukkan hasil yang beragam, pada **Tabel 2.16** *sludge* yang diteliti Avelar dkk (2016) mengandung tembaga (Cu), mangan (Mn), besi (Fe) dan zinc (Zn) yang tinggi hal ini dapat disebabkan dari pengaruh penambahan bahan pewarna yang digunakan pada industri tersebut selain itu kandungan besi yang tinggi dapat terjadi karena penggunaan koagulan saat proses pengolah air limbah, koagulan yang umumnya yang digunakan yaitu *Ferric Chloride* ($FeCl_3$), *Ferric Sulfate* ($Fe(SO_4)_3$), *Copperas* ($FeSO_4.7H_2O$) dan *Sodium Aluminate* ($Na_2Al_2O_4$) yang dapat juga berkontribusi pada unsur Fe dan Na *sludge* tekstil (Avelar dkk., 2016; Easha dkk., 2015).

2.8 Karakteristik *Bottom Ash*

Penggunaan batubara untuk pembakaran menghasilkan abu batubara. Abu batubara terdiri dari abu bawah (*bottom ash)* dan abu terbang (*fly ash*) yang merupakan oksida dari logam-logam yang terkandung dalam batubara (Indriyani dkk., 2015). *Bottom ash* merupakan produk samping dari proses pembakaran pada kecepatan gas alir rendah dan/atau zona unggun tetap, *bottom ash* memiki ciri-ciri partikel yang relatif kasar, geometri yang tidak beraturan dengan warna lebih gelap yang disebabkan kandungan karbon yang tidak terbakar (Samandhi, 2008 dalam Indriyani dkk., 2015).

Analisis proksimat dan nilai kalor untuk *bottom ash* yang berasal dari PLTU Pangkalan Susu yang diteliti oleh Musari (2018) dan *bottom ash* yang diteliti oleh Anetiesia dkk (2015) dapat dilihat pada **Tabel 2.17**. (Rismayani dan Tayibnapis, 2011)

Tabel 2. 17 Analisis Proksimat Pada *Bottom Ash*

Parameter	Musari (2018)	Anetiesia dkk (2015)	Rismayani dan Tayibnapis (2011)
Kadar Air (%)	3,26	2	5
Kadar Abu (%)	2,87	83,93	52
Volatile Matter (%)	0,02	-	4
Fixed Carbon (%)	99,63	-	39
Nilai Kalor (kkal/kg)	-	610,012	3.255

Sumber: Musari (2018); Anetiesia dkk (2015); Rismayani dan Tayibnapis (2011)

Nilai kalor pada *bottom ash* tergolong tinggi sehingga dengan dilakukannya pemanfaatan dengan cara menggunakan kembali sebagai bahan baku bahan bakar, namun berdasarkan **Tabel 2.17** kandungan nilai kalor pada *bottom ash* yang diteliti oleh Anetiesia dkk (2015) lebih rendah dibandingan dengan *bottom ash* yang diteliti oleh Rismayani dan Tayibnapis (2011) yang hanya sebesar 610,012 kkal/kg.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rismayani dan Tayibnapis (2011) *bottom ash* yang berasal dari pabrik tekstil memiliki kandungan sulfur sebesar 0,46%.

Komposisi utama dari *bottom ash* yaitu terdapatnya oksida-oksida atau mineral yang memuat silika, aluminium, besi, kalsium, natrium dan magnesium (Hartanto dkk, 2010 dalam Slamet dan Gunawan, 2016). Komposisi dari kandungan abu *bottom ash* dapat dilihat pada **Tabel 2.18** (Al-Latif dkk., 2019).

Tabel 2. 18 Komposisi Kimia Pada *Bottom Ash*

Mineral	Kandungan (%)
SiO_2	55,09
Al_2O_3	19,95
Fe_2O_3	6,44
K_2O	0,95
Na_2O	0,58
CaO	4,14
MgO	1,86
TiO_2	1,53
MnO	0,10
P_2O_5	0,43

Sumber: Al-Latif dkk (2019)

2.9 Karakteristik Biomassa

Bahan baku tambah lainnya selain *bottom ash* menggunakan juga biomassa. Biomassa adalah materi organik yang dihasilkan dari proses fotosintesis terdiri dari campuran materi organik kompleks meliputi karbohidrat, lemak, protein dan sedikit mineral (fosfor, kalsium dan besi) (Silalahi, 2000 dalam Suhartoyo dan Sriyanto, 2017). Secara umum komponen utama dari biomassa merupakan selulosa dan lignin, berdasarkan Borman (1998) dalam Suhartoyo dan Sriyanto (2017) biomassa dibagi menjadi 2 (dua) jenis yaitu biomassa bukan kayu dan biomassa kayu yang dapat dibagi kembali menjadi biomassa kayu keras serta kayu lunak. Biomassa bukan kayu merupakan biomassa yang dapat digunakan sebagai bahan bakar meliputi limbah industri gula pasir (*bagasse*), sekam padi, rerantingan (*stalks*), jerami, biji-bijian, serta kotoran hewan.

Biomassa yang digunakan pada kajian ini merupakan biomassa yang sebelumnya telah diberikan perlakuan berupa “peuyeumisasi”. Proses peuyeumisasi merupakan proses menggunakan kotak bambu yang diberikan oksigen (aerasi) serta mikroorganisme berupa bioaktivator yang mengandung bakteri menghilangkan bau

tak sedap pada sampah dan mengurangi volume dari limbah (Marganingrum dkk., 2020).

Karakteristik analisis proksimat, dan nilai kalor dari berbagai jenis biomassa yang dijelaskan oleh Basu (2018) Rismayani dan Tayibnapis (2011) dapat dilihat pada **Tabel 2.19**.

Tabel 2. 19 Analisis Proksimat Untuk Berbagai Jenis Biomassa

Parameter	Limbah Sabut Kelapa[1]	Tempurung Kelapa[2]
Kadar Air (%)	12	4,24
Kadar Abu (%)	3	11,99
Volatile Matter (%)	68	67,01
Fixed Carbon (%)	17	16,77
Nilai Kalor (kkal/kg)	3.950	4.925,96

Sumber: (1) Rismayani dan Tayibnapis (2011); (2) Suhartoyo dan Sriyanto (2017)

Tabel 2.19 menunjukkan bahwa karakteristik biomassa tergantung dari jenis biomassa yang digunakan, untuk limbah sabut kelapa dan tempurung kelapa nilai kalornya tinggi yaitu sebesar 3.950 kkal/kg dan 4.925,96 kkal/kg.

2.10 Analisis Regresi Linier Berganda

Analisis regresi merupakan analisis yang bergantung pada peubah bebas (peubah yang mempengaruhi peubah lainnya) dan peubah terikat (peubah yang dipengaruhi peubah lainnya), tujuan dari analisis regresi selanjutnya dilakukan untuk mengetahui pembuatan model yang selanjutnya dapat dilihat hubungan antara peubah bebas dengan peubah terikat (Soleh, 2005). Terdapat 2 (dua) model regresi yaitu model regresi sederhana dan model regresi berganda, model regresi sederhana yaitu hanya memiliki satu peubah terikat dan satu peubah bebas sedangkan model regresi berganda memiliki satu peubah terikat dan lebih dari satu peubah bebas (Soleh, 2005). Sebelum melakukan analisis regresi linier berganda perlu dilakukan beberapa uji terlebih dahulu agar model tersebut valid serta, uji-uji yang perlu dilakukan antara lain:

a. Asumsi Normalitas

Asumsi normalitas dilakukan terhadap data yang digunakan untuk melihat apakah data yang dikumpulkan memiliki distribusi normal atau tidak. Menurut Santoso (2012) data dikatakan berditribusi normal apabila probabilitas (*asymtotic significance*) sebagai berikut:

1. Apabila probabilitas > 0,05 maka data memiliki distribusi normal
2. Apabila probabilitas < 0,05 maka data tidak memiliki distribusi normal

b. Asumsi Linieritas

Asumsi linieritas digunakan untuk mengetahui apakah hubungan antara peubah terikat dan peubah bebas memiliki hubungan yang linier secara signifikan atau tidak. Berdasarkan Yusuf (2016) uji linieritas dilakukan dengan melihat uji-F apabila nilai F yang ditinjau bernilai lebih besar dari nilai F yang terdapat pada tabel taraf signifikansi (α) = 0,05, maka data tersebut dapat dikatakan linier.

c. Asumsi Multikolinieritas

Asumsi multikolinieritas bertujuan untuk melihat apakah terdapat korelasi antar peubah bebas, model regresi yang valid seharusnya tidak terjadi korelasi antar peubah bebas (Santoso, 2012).

d. Asumsi Autokorelasi

Asumsi autokorelasi dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat korelasi antara nilai dugaan dengan nilai dugaan lainnya, apabila terdapat korelasi maka disebut sebagai autokorelasi (Santoso, 2012). Suatu model yang baik tidak memiliki hubungan autokorelasi antara satu dengan yang lainnya untuk menguji asumsi autokorelasi menggunakan uji *Durbin-Watson* (DW) (Santoso, 2012).

e. Asumsi Homoskedastisitas

Asumsi homoskedastisitas digunakan untuk melihat apakah terdapat ketidaksamaan varian dalam sebuah model. Apabila data varian dari setiap data memiliki kecenderungan yang tetap maka data tersebut homokedasitisitas sehingga data tersebut dapat dikatakan memiliki model regresi yang valid (Imam, 2013).

Apabila pengujian berdasarkan asumsi tersebut telah dilakukan dan telah memenuhi ketentuan yang berlaku maka selanjutnya dilakukan analisis regresi linier berganda.

Analisis regresi linier berganda yang umum digunakan antaralain metode *stepwise*, *backward*, dan *forward*. Metode *stepwise* merupakan salah satu metode yang digunakan karena mampu memecahkan model yang memiliki peubah bebas yang berkorelasi (Kondolembang, 2011). Dalam melakukan analisis regresi linier berganda hal-hal yang perlu diperhatikan berdasarkan Soleh (2005) antara lain:

a. Model Analisis Regresi Linier Berganda

Berdasarkan Soleh (2005) apabila suatu model memiliki lebih dari satu peubah bebas dan seluruh peubah tersebut berpengaruh terhadap peubah terikat maka model tersebut disebut sebagai model regresi linier berganda, model tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + ... + \beta_k X_k$$

Dimana:

- Y menyatakan variabel terikat
- $X_1, X_2, ..., X_k$ menyatakan variabel bebas
- $\beta_1, \beta_2, ..., \beta_k$ menyatakan parameter dari regresi

b. Koefisien determinasi (R^2)

Menurut Soleh (2005) koefisien determinasi merupakan besaran yang menunjukkan kualitas dari suatu model regresi linier dengan tujuan dapat ditemukannya kontribusi dari peubah bebas dalam menjelaskan peubah terikat. Dengan nilai R^2 = 100% maka model regresi linear tersebut dapat disimpulkan bahwa uraian terkait peubah terikat dapat dengan tepat dihitung apabila nilai peubah bebasnya diketahui.

c. Uji Keberartian Koefisien Slope (Uji-T)

Uji ini dilakukan untuk menerangkan terkait keberartian peubah bebas dalam menerangkan peubah terikat yaitu dalam hal ini H_0 menerangkan bahwa peubah bebas tidak memberikan kontribusi yang cukup berarti dalam menjelaskan peubah terikat dan begitu juga sebaliknya H_1 menerangkan bahwa peubah bebas memebrikan konstribusi yang cukup berarti dalam menjelaskan peubah terikat (Soleh, 2005).

d. Uji Kelinieran Model (Uji-F)

Uji ini dilakukan untuk menentukan hipotesis yang akan diuji, berdasarkan Soleh (2005) H_0 menerangkan terdapat ikatan yang linier antara peubah bebas dengan peubah terikat serta H_1 menerangkan tidak ada ikatan yang linier antara peubah bebas dengan peubah terikat. Selain itu terdapat juga analisis regresi linier berganda metode *stepwise* , *backward*, dan *forward*. Metode *stepwise* merupakan salah satu metode yang digunakan karena mampu memecahkan model yang memiliki peubah bebas yang berkorelasi

itenas library