

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Umum**

##### **2.1.1 Sampah**

Sampah adalah limbah yang bersifat padat terdiri atas zat organik dan anorganik yang dianggap tidak berguna lagi dan harus dikelola agar tidak membahayakan lingkungan dan melindungi investasi pembangunan (Badan Standarisasi Nasional, 2002). Sedangkan menurut UU No. 18 Tahun 2008, Sampah merupakan sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Adanya berbagai aktivitas masyarakat yang terus bertambah seiring dengan berkembangnya teknologi menyebabkan timbulan sampah yang terus meningkat, sehingga diperlukan teknik pengelolaan dan pengolahan sampah yang tepat.

##### **2.1.2 Konsep Dasar Sampah**

###### **2.1.2.1 Sumber Sampah**

Sumber sampah merupakan hasil sisa yang tidak diinginkan setelah berakhirnya suatu kegiatan yang dilakukan manusia. Kegiatan tersebut mengacu pada suatu hal yang menimbulkan sampah, seperti mengonsumsi makanan. Sumber timbulan sampah sangat beragam dan dapat ditemukan pada banyak tempat. Menurut (Sujarwo, 2014) sumber-sumber dari timbulan sampah dapat dilihat sebagai berikut:

1. Sampah dari permukiman penduduk

Pada permukiman biasanya sampah dihasilkan oleh keluarga yang tinggal di rumah. Sampah yang dihasilkan biasanya cenderung jenis organik, seperti sisa makanan, sayuran atau sampah yang bersifat basah, juga beberapa kemasan plastik.

2. Sampah dari tempat-tempat umum dan perdagangan

Tempat-tempat umum adalah tempat yang dimungkinkan banyaknya orang

berkumpul dan melakukan kegiatan. Tentu saja, tempat tersebut berpotensi dalam memproduksi sampah termasuk tempat pertokoan dan pasar.

3. Sampah dari sarana pelayanan masyarakat milik pemerintah  
Sumber sampah dalam hal ini meliputi tempat hiburan umum, pantai, masjid, rumah sakit, bioskop, perkantoran, dan sarana pemerintah lainnya yang menghasilkan sampah kering dan sampah basah.
4. Sampah dari industry  
Timbulan sampah juga banyak dihasilkan dari kegiatan industri. Sampah yang dihasilkan dari tempat ini biasanya dapat berupa limbah padat dan limbah cair. Beberapa sampah hasil sisa proses industri bisa dikategorikan lebih berbahaya dibanding sampah dari sumber lain.
5. Sampah dari pertanian  
Sampah dihasilkan dari kegiatan pertanian, misalnya sampah dari kebun, sawah, atau kandang yang dihasilkan berupa bahan makanan, pupuk, maupun bahan pembasmi serangga tanaman.

#### **2.1.2.2 Timbulan Sampah**

Timbulan sampah adalah volume sampah atau berat sampah yang dihasilkan dari jenis sumber sampah di wilayah tertentu per satuan waktu (Badan Standarisasi Nasional, 2002). Timbulan sampah sangat diperlukan untuk menentukan dan mendesain fasilitas yang akan digunakan dalam transportasi sampah, fasilitas *recovery material*, ataupun fasilitas Tempat Pemrosesan Akhir (TPS).

Menurut spesifikasi teknis pengukuran sampah, Metode pengukuran timbulan sampah memiliki beberapa cara antara lain yaitu :

1. *Load-count analysis* / analisis perhitungan beban, yaitu jumlah masing-masing jenis sampah di hitung dengan mencatat volume, berat jenis, jenis angkutan dan sumber sampah. kemudian dihitung jumlah timbulan sampah perkotaan selama periode tertentu.
2. *Weight-volume analysis* / analisis berat volume, yaitu jumlah masing-masing volume sampah yang masuk ke TPS di hitung dengan mencatat

volume dan berat sampah, kemudian dihitung jumlah timbulan sampah perkotaan.

3. *Material-balance analysis* / analisis kesetimbangan bahan, analisis ini digunakan untuk menghasilkan data lebih lengkap. Biasanya dilakukan dalam lingkup sampah rumah tangga dan industri. Analisis ini juga dapat digunakan untuk pedoman konsep daur ulang.

### 2.1.2.3 Komposisi Sampah

Menurut SNI 19-3964-1995, komposisi sampah adalah bentuk komponen fisik sampah seperti, sisa-sisa makanan, kertas-karton, kayu, kain-tekstil, karet-kulit, plastik, logam besi-non besi, kaca dan lain-lain (misalnya tanah, pasir, batu dan keramik). Dalam Damanhuri dan Padmi (2010) menggambarkan tipikal komposisi sampah pemukiman atau sampah domestik perkotaan, dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Komposisi Sampah Domestik

Kategori sampah	% berat	% volume
Kertas dan bahan-bahan kertas	32,98	62,61
Kayu/produk dari kayu	0,38	0,15
Plastik, kulit dan produk karet	6,84	9,06
Kain dan produk tekstil	6,36	5,1
Gelas	16,06	5,31
Logam	10,74	9,12
Bahan batu, pasir	0,26	0,07
Sampah organic	26,38	8,58

Sumber: (Damanhuri et al., 2010)

### 2.1.2.4 Karakteristik Sampah

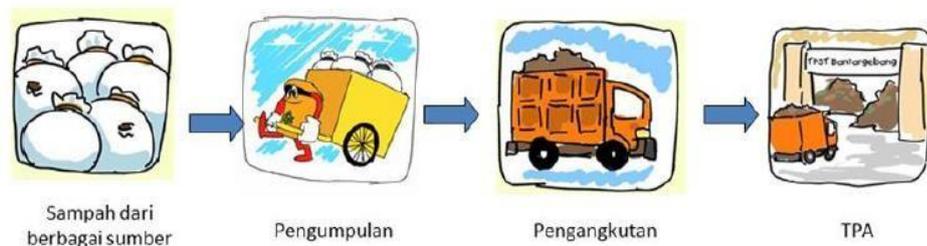
Menurut Damanhuri dan padmi (2010) selain komposisi, terdapat aspek lain yang biasa ditampilkan dalam penanganan sampah yaitu karakteristik fisika dan kimia. Karakteristik tersebut sangat bervariasi, tergantung pada

komponen- komponen sampah. Karakteristik fisika dari sampah meliputi kadar air, kadar abu, kadar volatil, dan berat jenis sampah. Sedangkan untuk karakteristik kimia sampah meliputi nilai kandungan energi dan nilai kalor sampah.

Sampah kota di negara-negara yang sedang berkembang akan berbeda susunannya dengan sampah kota di negara-negara maju. Karakteristik sampah perlu diketahui untuk mengevaluasi kebutuhan alat, sistem pengelolaan, fasilitas pengolahan, dan terutama pada penerapan pembuangan dan perlindungan sumber daya energi.

### 2.1.2.5 Konsep Pengelolaan Sampah Perkotaan

Sesuai amanat Undang-Undang Republik Indonesia No.18 Tahun 2008 tentang pengelolaan sampah, paradigma lama pengelolaan sampah di Indonesia yaitu pengumpulan-pengangkutan-pembuangan mulai bergeser menjadi pemilahan-pengolahan-pemanfaatan-pembuangan residu. Secara tahapan, sistem pengelolaan sampah paradigma lama dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Sistem Pengelolaan Sampah Paradigma Lama

Sumber: (Cipta Prima Engineering, 2020)

Penanganan sampah dengan paradigma lama tidak berjalan efektif, karena tidak ada suatu kegiatan untuk menekan timbulan sampah. Oleh karena itu diperlukan konsep pengelolaan sampah baru untuk mengurangi beban sampah yang masuk ke dalam Tempat Pembuangan Akhir (TPA).

Pengelolaan sampah paradigma baru terdiri dari pengurangan dan penanganan sampah. Pengurangan sampah dapat dilakukan melalui pembatasan timbulan sampah (*reduce*), pemanfaatan kembali sampah (*reuse*) dan pendauran ulang sampah (*recycle*). Sedangkan, kegiatan penanganan sampah meliputi :

1. Pemilahan dalam bentuk pengelompokan dan pemisahan sampah sesuai dengan jenis, jumlah dan sifat sampah.
2. Pengumpulan dalam bentuk pengambilan dan pemindahan sampah dari sumber sampah ke tempat penampungan sementara atau tempat pengolahan sampah terpadu.
3. Pengangkutan dalam bentuk pemindahan sampah dari tempat penampungan sampah sementara atau dari tempat pengolahan sampah terpadu menuju ke tempat pemrosesan akhir.
4. Pengolahan dalam bentuk mengubah karakteristik, komposisi, dan jumlah sampah.
5. Pemrosesan akhir sampah dalam bentuk pengembalian sampah atau residu hasil pengolahan sebelumnya ke media lingkungan secara aman.

Paradigma baru pengelolaan sampah mendorong adanya pengelolaan sampah dari sumber dengan tujuan utamanya menciptakan sebuah kawasan yang bersih dan sehat. Di lain sisi pemanfaatan hasil pengelolaan sampah berupa energi, pupuk atau bahan baku industri merupakan nilai tambah. Pengelolaan sampah dengan paradigma baru ini akan memberikan peran besar terhadap penekanan timbulan sampah yang masuk dalam Tempat Pemrosesan Akhir (TPS) (CPE, 2020).

### **2.1.3 Konsep *Waste To Energy* Dalam Pengelolaan Sampah Perkotaan**

Pemanfaatan sampah menjadi sebuah energi di Indonesia masih sangat terbatas untuk dilakukan. Hal ini bisa disebabkan karena pola pikir masyarakat yang masih menyerahkan hasil akhir sampah ke TPS. Dengan fakta tersebut, tidak bisa dipungkiri bahwa beban TPS akan semakin bertambah. Sehingga akan mengurangi daya tampung sampah dari TPS tersebut. Di sisi lain, keterbatasan lahan untuk pembuangan sampah seringkali dihadapi oleh suatu kota/kabupaten. Oleh karena perlu adanya pengembangan teknologi pengolahan sampah, salah satunya yaitu melalui aplikasi teknologi *Waste to Energy* untuk membantu mengatasi masalah sampah dalam skala perkotaan (Nizar et al., 2016).

Pada dasarnya terdapat berbagai macam variasi teknologi dari *WTE*, namun untuk penerapan aplikasi *WTE* di Indonesia selama ini masih terbatas pada pemanfaatan landfill gas yang dihasilkan dari timbunan sampah di TPS. Maka diperlukan adanya teknologi pengolahan sampah yang mempunyai tingkat reduksi lebih besar. Salah satu aplikasi teknologi *WTE* yang bisa dilakukan adalah pembuatan bahan bakar *Refused Derived Fuel (RDF)* dari sampah yang ditimbun di TPS (Kementerian PUPR, 2018).

#### **2.1.4 Pengertian *RDF***

*Refused Derived Fuel (RDF)* merupakan bahan bakar alternatif yang berasal dari proses mekanis dengan bahan baku sampah perkotaan yang tercampur dimana sampah yang *non-combustible* disisihkan untuk menghasilkan campuran yang homogen. Secara umum sistem *RDF* memiliki dua fungsi yaitu produksi dan pembakaran. Pada proses produksi, sampah yang dapat didaur ulang seperti kaca dan besi disisihkan terlebih dulu sehingga tidak masuk ke tahapan produksi *RDF*. Sedangkan sampah jenis lain seperti sampah organik, kertas, dan plastik dapat digunakan sebagai bahan baku dan dicacah untuk mereduksi ukuran yang selanjutnya diolah untuk menghasilkan produk *RDF* seperti fluff atau pellet. Sampah yang paling tepat untuk *RDF* yaitu sampah yang memiliki kandungan kalori tinggi setelah dipisahkan dari sampah yang dapat didaurulang. Sistem *RDF* dibagi menjadi dua yaitu (Sarsaiya et al., 2019) :

1. *Shred and burn system*

Sistem ini merupakan sistem paling sederhana dimana pengolahan minimal sampah yang belum diproses adalah dengan dilakukan penyisihan besi. Pada sistem ini, tidak terdapat ketentuan untuk menyisihkan sampah yang tidak mudah terbakar.

2. *Simplified process system*

Jenis sistem ini dilakukan dengan memisahkan sampah-sampah yang tidak mudah terbakar, dapat didaurulang, dan material besi dari sampah campuran. Selanjutnya sampah dimasukkan pada shredder untuk menghomogenkan ukuran dari sampah tersebut yaitu sebesar 10-15 cm.

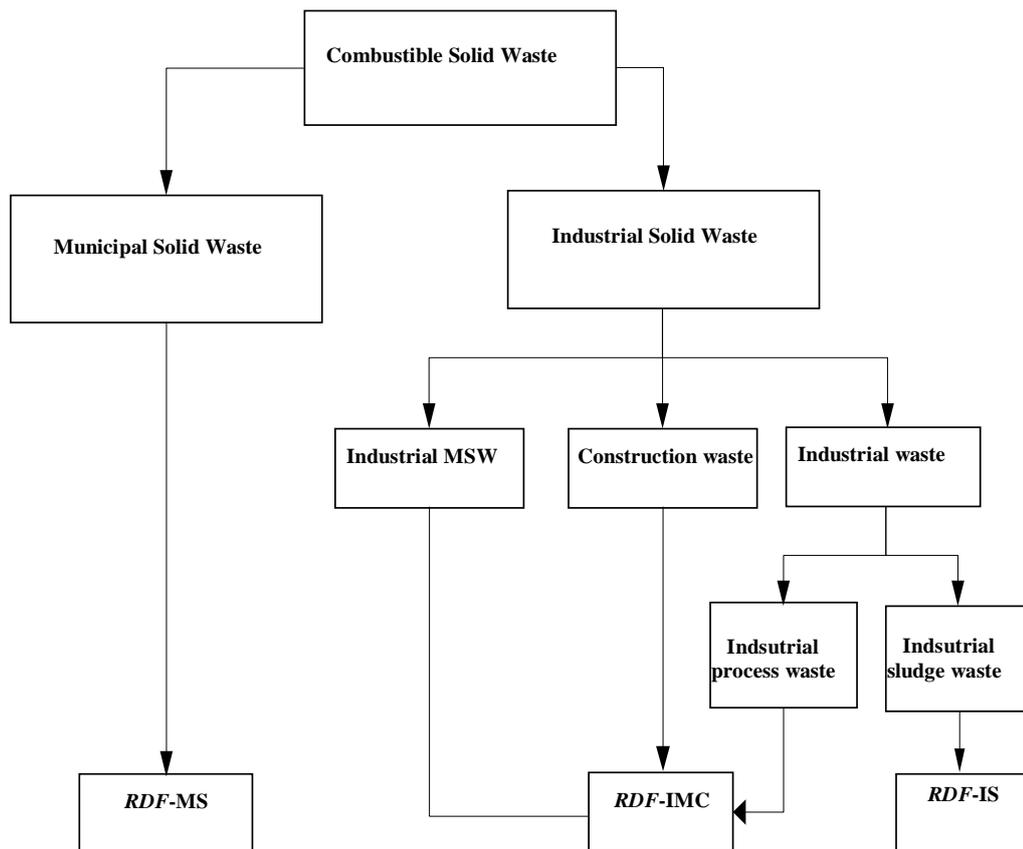
### 2.1.5 Klasifikasi *RDF*

Menurut standar ASTM E856-83, *RDF* dapat diklasifikasikan ke dalam 7 kategori sebagai berikut:

1. *RDF-1*. *RDF-1* adalah *Municipal Solid Waste (MSW)* yang digunakan sebagai bahan bakar tanpa sampah yang berukuran besar dan tebal.
2. *RDF-2*. *RDF-2* adalah *MSW* yang diproses menjadi partikel kasar dengan atau tanpa logam besi (*ferrous metal*). Sub-kategori dari *RDF-2* merupakan serpihan *RDF* yang kemudian dipisahkan sehingga 95% berat limbah dapat melewati saringan mesh 6 inci (disebut juga sebagai *coarse RDF* atau *c-RDF*).
3. *RDF-3*. *RDF-3* merupakan bahan bakar yang dicacah yang berasal dari *MSW* dan diproses untuk memisahkan logam, kaca dan bahan anorganik lainnya, sehingga 95% berat limbah dapat melewati saringan mesh berukuran 2 inci (disebut juga sebagai *f-RDF*).
4. *RDF-4*. *RDF-4* dihasilkan dari fraksi sampah yang mudah dibakar (*combustible*) yang diolah menjadi bentuk serbuk, sehingga 95% berat limbah dapat melewati saringan mesh 10 (disebut juga sebagai *dust RDF* atau *p-RDF*).
5. *RDF-5*. *RDF-5* dihasilkan dari fraksi sampah yang mudah dibakar (*combustible*) yang kemudian dipadatkan menjadi bentuk granul, *slags*, *cubettes*, briket, dan pelet (disebut juga dengan *densified RDF* atau *d-RDF*).
6. *RDF-6*. *RDF-6* dihasilkan dari fraksi mudah terbakar (*combustible*) yang diolah menjadi bahan bakar cair, disebut *RDF Slurry*.
7. *RDF-7*. *RDF-7* adalah *RDF* dalam bentuk gas. Klasifikasi berbeda terdapat di beberapa negara seperti di Inggris. Di sana terdapat empat klasifikasi *RDF* yang sering digunakan yaitu, *c-RDF*, *d-RDF*, dan *f-RDF*, dan klasifikasi terakhir adalah *RDF syngas*.

### 2.1.6 Sumber Bahan Bakar *RDF*

Sampah untuk bahan baku pembuatan *RDF* bisa berasal dari berbagai sumber kegiatan. Tidak hanya berasal dari limbah padat perkotaan tetapi juga dapat berasal dari limbah padat hasil kegiatan industri (Dong & Lee, 2009).



**Gambar 2.2** Diagram Klasifikasi *RDF*

Sumber : (Dong & Lee, 2009)

Gambar 2.2 menunjukkan bahwa bahan bakar *RDF* dapat diproduksi menggunakan sampah padat perkotaan, *sludge* dari industri, limbah konstruksi dan limbah hasil proses industri. Pembuatan *RDF-MS* dilakukan dengan menggunakan bahan baku limbah padat perkotaan, pembuatan *RDF-IMC* dilakukan dengan menggunakan bahan baku limbah konstruksi dan limbah hasil proses industri, sedangkan pembuatan *RDF-IS* dilakukan dengan menggunakan bahan baku *sludge* dari industri.

### 2.1.7 Referensi Nilai Kalor dan Standar RDF

Jaminan kualitas dalam produksi *RDF* menunjukkan syarat bahwa sampah harus memiliki nilai kalori tinggi dan memiliki konsentrasi rendah terhadap bahan kimia beracun terutama untuk logam berat dan klorin. Aspek kualitas juga mempengaruhi keberhasilan atau kegagalan dilihat dari sudut pandang ekonomi pemanfaatan *RDF*. Dengan adanya tiga faktor utama yang mempengaruhi yaitu produsen *RDF*, potensi pelanggan *RDF* dan otoritas dari masing – masing wilayah. Karena sudut pandang mereka yang berbeda, maka akan dihasilkan produk *RDF* yang bervariasi baik dari segi bentuk ataupun nilai kalori yang terkandung didalamnya. Adapun jenis sampah dan nilai kalori sampah yang dapat diolah menjadi *RDF* menurut beberapa referensi adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.2** Jenis Sampah *RDF* dan Nilai Kalor dari Yunani

<b>Komponen Sampah</b>	<b>Nilai Kalor (MJ/kg)</b>
Kertas	3,96
Sisa Makanan	13,03
Plastik	24.48
Kain	18.47
Sampah Taman	5.16
Kaca	0.16
Metal	1.35
Kayu	14.16

Sumber: (Antomopoulos, 2010)

Nilai kalori pada tabel 2.2 merupakan nilai kalori sampah perkotaan yang diambil berdasarkan sebuah jurnal yang berjudul *Estimation of Municipal Solid Waste Heating Value In Greece In The Frame of Formulating Appropriate Scenarios on Waste Treatment* yang dibuat oleh Antomopoulos, Karagiannidis, dan E. Kalogirou. Nilai kalori didapatkan dengan menggunakan metode uji bom kalorimeter terhadap timbulan sampah Negara Yunani.

**Tabel 2.3** Jenis Sampah *RDF* dan Nilai Kalor dari Korea Selatan

<b>Komponen Sampah</b>	<b>Nilai Kalor (kcal/kg)</b>
Kertas	3588
Kayu	4400
Tekstil	5200
Resin sintetis	7857
Lumpur IPAL	1800
Karet dan kulit	7200
Plastik	8000
Lumpur sisa proses	3000

Sumber: (Dong & Lee, 2009)

Nilai kalor pada tabel 2.3 merupakan nilai kalor sampah perkotaan yang diambil berdasarkan sebuah jurnal yang berjudul *Analysis of potential RDF resources from solid waste and their energy values in the largest industrial city of Korea* yang dibuat oleh Trang T.T. Dong dan Byeong-Kyu Lee. Nilai kalor didapatkan dengan menggunakan metode uji bom kalorimeter terhadap timbunan sampah di Korea Selatan.

**Tabel 2.4** Jenis Sampah *RDF* dan Nilai Kalor dari Referensi Amerika Utara

<b>Komponen Sampah</b>	<b>Nilai Kalor (MJ/kg)</b>
Kertas	6.7
Kayu	10
Tekstil	13.8
Karet	26.9
Plastik	31.8
PVC	16.5

Sumber: (Lariviere, 2011)

Nilai kalor pada tabel 2.4 merupakan nilai kalor sampah perkotaan yang diambil berdasarkan sebuah *text book* dari *U.S Dept of Energy*. Nilai kalor tersebut berasal dari Amerika Utara yang didapatkan dari pengumpulan data terhadap beberapa pembangkit listrik tenaga sampah di sana.

Adapun beberapa penelitian *RDF* yang dilakukan di negara asia dengan iklim tropis seperti indonesia. Penelitian tersebut digunakan sebagai upaya untuk mengatasi masalah persampahan yang terus meningkat seiring dengan bertambahnya populasi penduduk dan berkurangnya lahan. Berikut nilai kalor sampah yang dihasilkan dari negara Singapura dan Srilanka:

**Tabel 2.5** Nilai Kalor Sampah di Negara Srilanka

<b>Komponen</b>	<b>Weight ( % )</b>	<b>Kadar Air ( % )</b>	<b>Nilai kalor (MJ/kg)</b>
Sisa makanan	56.57	65	18.4
Duplex	3.76	0	16.36
Taman	6.04	40	15.8
Kertas	2.71	3	15
Kayu	6.35	40	14.2
Plastik 1	0.70	0	45
Plastik 2	5.20	0	33.3
Karet	2.80	0	25.5
Kulit	1.40	0	23
Kain	1.75	0	17

Sumber:(Menikpura & Basnayake, 2009)

Nilai kalor pada tabel 2.5 merupakan merupakan nilai kalor sampah yang diambil berdasarkan sebuah jurnal yang berjudul *New Applications of Hess Law and Comparison with Models for Determining Caloric Values* yang dibuat oleh Menikpura S dan Basnayake B. Nilai kalor didapatkan dari pengumpulan data terhadap sampah yang ditimbun pada beberapa TPS di negara Srilanka.

**Tabel 2.6** Nilai Kalor Sampah di Negara Singapura

<b>Komponen</b>	<b>Kadar Abu (%)</b>	<b>Kadar Air (%)</b>	<b>Nilai kalor (MJ/kg)</b>
PP/PE	0.03	0.06	43.2
PS	0.02	0.12	39.9
PET	0.5	0.5	21.9
Textile	5.4	5.4	16.6
Kertas	17.1	7.1	12.1
Sisa Makanan	2.7	73.8	4.1
Kayu	5.20	0	11.2
Sampah Pertanian	1.1	45.3	8.9

Sumber: (Zhao et al., 2016)

Nilai kalor pada tabel 2.6 merupakan merupakan nilai kalor sampah yang diambil berdasarkan sebuah jurnal yang berjudul *Characterization Of Singapore RDF Resources And Analysis Of Their Heating Value*. Nilai kalor didapatkan dari pengumpulan data terhadap beberapa jenis sampah yang masuk pada beberapa TPS di negara Singapura.

### 2.1.8 Pemanfaatan RDF

*Refuse Derived Fuel (RDF)* biasa digunakan dalam industri semen. Beberapa perusahaan di Indonesia sudah berupaya untuk menggunakan *RDF* sebagai bahan bakar alternatif seperti pada pabrik Solusi Bangun Indonesia. Persyaratan *RDF* yang bisa digunakan sebagai bahan bakar untuk pembakaran *cement kiln* di pabrik semen tercantum dalam tabel 2.7. Selain industri semen, pemanfaatan *RDF* juga bisa dilakukan pada unit pembangkit listrik. Adapun penjelasan dari pemanfaatan *RDF* sebagai berikut :

#### 1. *Cement Kiln*

Industri semen menggunakan *RDF* pada proses termal dengan suhu yang tinggi. Penggunaan *RDF* dari sampah domestik pada industri semen memiliki rasio rata rata 3%. Hal tersebut masih jauh lebih rendah

dibandingkan dengan negara-negara eropa yang memiliki rasio sebesar 17%. Podusen semen di Indonesia memiliki hambatan untuk menggunakan *RDF* dikarenakan kurang baiknya sistem pengumpulan dan pemilahan sampah. Penggunaan *RDF* untuk pembakaran di kiln memiliki nilai kalor rata-rata sekitar 2.500-4.000 kkal/kg (Kementerian PUPR, 2017). Penggunaan *RDF* untuk pembakaran *cement kiln* mulai digunakan oleh pabrik semen di Indonesia. Salah satu pabrik semen yang menggunakan *RDF* adalah Solusi Bangun Indonesia yang telah mengganti 5% bahan bakar dengan *RDF*.

**Tabel 2.7** Spesifikasi *RDF* di Indonesia

<b>Parameter Kualitas</b>	<b>Satuan</b>	<b>Nilai Batas</b>
Nilai kalor	Kkal/kg	$\geq 3000$
Cl	%	$\leq 0,75$
Kandungan Volatil	%	50 - 80
Kandungan Air	%	$\leq 20$
Kandungan Abu	%	$\leq 10$

Sumber : (Kementerian PUPR, 2017)

## 2. Pembangkit Listrik

Pembakaran *refuse derived fuel* pada pembangkit listrik umum digunakan bersamaan dengan bahan bakar fosil yaitu batu bara. Pergantian bahan bakar batubara dengan *RDF* bervariasi mulai dari 0% hingga 100%. Namun, kekurangan utama dari penggunaan *RDF* adalah adanya korosi pada permukaan boiler yang disebabkan oleh Cl<sup>-</sup>. Selain itu, kehadiran Cl<sup>-</sup> juga dapat memicu pembentukan dioksin (Brás et al., 2020).

## **2.1.9 Briket**

### **2.1.9.1 Briket Sampah**

Briket sampah merupakan bahan bakar padat alternatif atau merupakan pengganti bahan bakar minyak dari bahan baku sampah yang paling murah dan dimungkinkan untuk dikembangkan secara masal dan dalam waktu yang relatif singkat. Mengingat teknologi dan peralatan yang digunakan relatif sederhana. Briket sampah merupakan bahan bakar padat yang mengandung volatil, mempunyai nilai kalori yang tinggi, dan dapat menyala dalam waktu yang lama. Bioarang adalah arang yang diperoleh dengan membakar biomassa kering tanpa udara (pirolisis). Sedangkan biomassa adalah bahan organik yang berasal dari jasad hidup. Biomassa sebenarnya dapat digunakan secara langsung sebagai sumber energi panas untuk bahan bakar, tetapi kurang efisien. Nilai bakar biomassa hanya sekitar 3000 kkal/kg, sedangkan bioarang mampu menghasilkan 5000 kkal/kg (Almu, 2012).

### **2.1.9.2 Karakteristik Briket**

Karakteristik briket dijelaskan oleh Almu (2012), sebagai berikut:

1. Nilai kalor bahan bakar adalah jumlah panas yang dihasilkan atau ditimbulkan oleh suatu gram bahan bakar tersebut.
2. Kadar air adalah kandungan air dalam bahan bakar, yang menunjukkan nilai kelembapan yang terdapat pada sampah padat.
3. Kadar abu adalah bahan yang tersisa apabila bahan bakar padat dipanaskan hingga berat konstan.
4. Kadar volatil adalah zat yang mudah menguap, bahwa semakin besar nilai kadar volatil akan semakin mudah biobriket untuk terbakar dan menyala.

Adapun faktor - faktor yang mempengaruhi karakteristik briket antara lain yaitu laju pembakaran, dimana laju pembakaran tertinggi adalah pada komposisi briket yang memiliki kandungan nilai kalori tertinggi. Kemudian, adapun faktor yang lain adalah jenis bahan penyusun dari briket sampah tersebut. Hal ini akan mempengaruhi nilai kalori yang dihasilkan.

## 2.1.10 Teknologi Pengolahan *RDF* di Indonesia

### 2.1.10.1 Tempat Pengelolaan Sampah Terpadu (TPST) Tritih Lor Cilacap

*RDF* merupakan pengolahan sampah yang dihasilkan oleh Tempat Pengelolaan Sampah Terpadu (TPST) di TPS Tritih Lor-Jeruklegi, Cilacap. Fasilitas pengolahan tersebut mampu mengelola sampah segar sebanyak 120 Ton per hari. Sampah-sampah tersebut didapatkan dari 5 wilayah di Kota Cilacap yaitu Kec. Cilacap Selatan, Kec. Cilacap Tengah, Kec. Cilacap Utara, Kec. Jeruk Legi dan Kec. Kesugihan. Luas lahan yang digunakan pada *RDF* plant tersebut terdiri dari 4.9 Ha TPS lama (aktif) dan 1.4 Ha TPS baru (pasif).



**Gambar 2.3** Proses pengolahan *RDF* di Cilacap

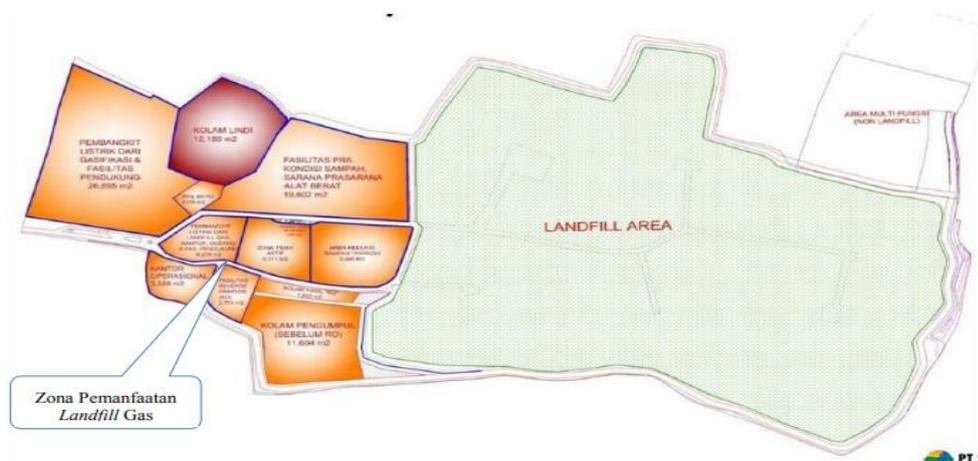
Sumber: (Kementrian PUPR, 2020)

Dapat dilihat pada gambar di atas, proses pengolahan *RDF* dimulai ketika truk pengangkut sampah memasuki area *RDF* Plant. Setiap truk pengangkut sampah akan ditimbang untuk mengetahui total sampah yang masuk ke *RDF* Plant sebelum dilakukan pengolahan. Sampah yang telah ditimbang kemudian dilakukan pemilahan. Sampah yang telah terpilah tersebut kemudian dicacah menggunakan mesin *Shredder*. Sampah yang telah dicacah kemudian dimasukkan ke dalam kotak pengeringan biologis atau yang biasa disebut *bio-drying*. Untuk mempercepat proses pengeringan, tempat pengeringan dilengkapi dengan blower dengan cara mengalirkan udara ke dalam kotak pengeringan.

Sampah yang dihasilkan dari proses pengeringan tersebut kemudian dipilah menggunakan mesin separator. Proses pemilahan ini dilakukan untuk memisahkan bahan bakar *RDF* dari tanah, batu, pasir dan material lain yang tidak memenuhi spesifikasi *RDF* atau memiliki ukuran partikel terlalu besar (Kementrian PUPR, 2020).

#### 2.1.10.2 Pengolahan *Waste to Energy* (WTE) pada TPA Benowo

Tempat Pembuangan Akhir TPA Benowo merupakan salah satu areal tempat pembuangan akhir sampah Kota Surabaya yang terletak di Kelurahan Romokalisari yang berbatasan langsung dengan Kabupaten Gresik, dengan lahan kurang lebih 37,1 Ha sudah termasuk daerah pengembangan seluas 3,43 Ha. Saat ini pengelolaan timbunan sampah di TPA Benowo dibagi dalam 5 sel, dimana dua sel timbunan sampah yaitu sel IA dan IB dalam tahap stabilisasi dan tiga sel lainnya masih dilakukan penambahan timbunan sampah. Total volume sampah yang terdapat pada dua sel tersebut sebesar  $\pm 312.960 \text{ m}^3$ . Sel timbunan sampah yang ditutup tersebut kemudian dilapisi tanah liat setebal 30 cm dan dipadatkan dengan bantuan mesin pemadat tanah. TPA Benowo memiliki kemampuan dalam mengolah sampah menjadi energi listrik. Sampah yang diolah setiap harinya berkisar sebanyak 1.300-1500 ton sampah per hari. Sampah yang dihasilkan tersebut bermanfaat sebagai energi terbarukan yang siap digunakan, dengan mengubah sampah menjadi gas metana. Gas metana tersebut merupakan bahan baku utama listrik lewat sistem *Landfill Gas Collection*.



**Gambar 2.4** Lokasi Fasilitas *WTE Landfill Gas* TPA Benowo

Sumber: (Kementrian PUPR, 2018)

## 2.2 Landasan Teori

Pada saat ini di Indonesia sampah masih dianggap sebagai bahan sisa yang tidak diinginkan dan bukan sebagai sumber daya yang dimanfaatkan. Hal tersebut dapat terlihat dari semakin banyaknya sampah yang menumpuk di tempat pemrosesan akhir (TPA). Paradigma pengelolaan sampah yang bertumpu pada pembuangan di TPA harus berganti dengan memanfaatkan sampah menjadi sebuah energi (*Waste to Energy*). Konsep *Waste to Energy* dapat dilakukan pada Tempat Pembuangan Sementara (TPS) untuk mengurangi beban sampah di TPA. Salah satu implementasi dari konsep *Waste to Energy* adalah dengan pembuatan *Refused Derived Fuel (RDF)*.

*Refused Derived Fuel (RDF)* merupakan bahan bakar padat alternatif yang berasal dari sampah perkotaan. Pembuatan *RDF* diharapkan mampu menekan timbulan sampah yang masuk ke dalam TPA. Dalam hal ini, proses pemanfaatan sampah menjadi bahan bakar *RDF* bergantung pada karakteristik fisik dan kimia yang terkandung dalam sampah. Karakteristik fisik yang dimaksud adalah meliputi kadar air yang terkandung didalam sampah, semakin tinggi nilai kelembapan maka akan semakin kecil potensi sampah untuk dimanfaatkan sebagai *RDF*. Begitupun juga pemanfaatan sampah sebagai bahan bakar *RDF* dipengaruhi oleh karakteristik kimia. Dalam hal ini, semakin besar nilai kadar abu yang terkandung dalam sampah maka akan semakin kecil potensi untuk pemanfaatan sebagai *RDF*. Kadar abu menentukan efektifitas dari proses pembakaran, maka semakin kecil nilai kadar abu maka efektifitas dari proses pembakaran sampah akan semakin tinggi. Hal tersebut berbanding terbalik dengan nilai kalor. Dalam pemanfaatan sampah menjadi bahan bakar *RDF* dibutuhkan nilai kalor yang tinggi. Nilai kalor dalam sampah menjadi dasar dari potensi pemanfaatan sebagai *RDF*. Pemanfaatan *RDF* diharapkan dapat menggantikan penggunaan bahan bakar fosil seperti batu bara dalam industri semen dan pembangkit listrik. Adapun menurut standar dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, nilai kalor yang dibutuhkan oleh *RDF* untuk menggantikan batu bara minimal sebesar  $\geq 3000$  kkal/kg

### 2.3 Penelitian Terdahulu (*Preview Study*)

**Tabel 2.8** Penelitian *RDF* Terdahulu

No	Peneliti dan Tahun	Judul	Metode	Hasil
1	(Zhao et al., 2016)	Characterization of Singapore RDF resources and analysis of their heating value	Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan beberapa komponen sampah seperti plastik, kertas / karton, tekstil, hortikultura dan sisa makanan. Sebelum analisis proksimat dan unsur, komponen limbah diparut di cutting mill menggunakan ayakan 0,5 mm. Analisis proksimat dilakukan sesuai dengan Standar ASTM-D5142. Sedangkan untuk analisis nilai kalor diuji dengan bom kalorimeter	Hasil analisis menunjukkan bahwa pada sampah perkotaan di beberapa TPS Singapura, komponen Sampah umumnya memiliki kandungan karbon tinggi sehingga menunjukkan tingginya potensi penggunaan sebagai energi. Dalam hasil pengukuran kalori didapatkan nilai tertinggi pada plastik dengan jenis PE/PP yaitu sebesar 43,2 MJ/kg. Sedangkan untuk nilai kalor terendah adalah pada sampah makanan yaitu sebesar 4,1 MJ/kg. Hal

				tersebut disebabkan oleh besarnya kandungan air pada sampah makanan.
2	(Paramita et al., 2018)	Sustainability of Refuse Derived Fuel Potential from Municipal Solid Waste for Cement's Alternative Fuel in Indonesia (A Case at Jeruklegi Landfill, in Cilacap)	Penelitian dilakukan di Kota Cilacap selama 5 bulan, Pengumpulan data primer dilakukan dengan wawancara mendalam dengan petugas Dinas Lingkungan Hidup Cilacap, Pemulung di TPS Jeruklegi serta karyawan industri semen dengan mengisi kuesioner. Sedangkan untuk Data sekunder berupa Kajian Spesifikasi Sampah di Cilacap oleh Ganesha Environmental dan Energy Services ITB tahun 2015. Penelitian ini mengkaji empat	Eksperimen telah dilakukan selama kurang lebih 5 bulan dari bulan Juni - Oktober. Ada 3 batch limbah. Percobaan ini mengkaji efektivitas bio-drying untuk meningkatkan nilai kalori pada sampah TPS Jeruklegi. Diperoleh hasil perhitungan kalori kalori minimum yang dibutuhkan oleh industri semen di Indonesia adalah 3000 Kkal / kg, metode biodrying ini cukup efektif untuk meningkatkan nilai

			<p>aspek yaitu Penetapan harga RDF, nilai kalori RDF, emisi yang dihasilkan oleh RDF dan inklusi pemulung. Aspek pertama dan kedua dianalisis dengan membandingkan hasil dengan kriteria dari industri semen, diperoleh dari kuesioner dan standar RDF negara lain.</p>	<p>kalor MSW. hasil percobaan pada sampah perkotaan pada TPS Cilacap juga menunjukkan hasil yang baik. Yaitu Nilai kalori rata-rata adalah sebesar 3563Kkal/kg. Maka sampah dari TPS Jeruklegi dapat digunakan sebagai alternatif bahan bakar konvensional.</p>
3	(Hemidat et al., 2019)	Potential Utilization of RDF as an Alternative Fuel to be Used in Cement Industry in Jordan	<p>Penelitian dilakukan di Kota Amman, untuk tujuan mendapatkan sampel yang representatif dari sampah yang dihasilkan oleh Kota Amman. Input bahan baku limbah diambil dari enam wilayah berbeda di Kota Amman selama periode enam hari dari TPS Al-Ghabawi.</p>	<p>Hasil analisis menunjukkan bahwa komposisi sampah secara keseluruhan terdiri dari empat jenis, yaitu sampah organik (55.1%), kertas dan karton (11%), plastik (9%), dan kebersihan produk (8,9%). Sisanya menyumbang 14,9% dari total dan</p>

			<p>Melalui proses bio-drying, sampel limbah segar diambil dari masing- masing wilayah. Semua sampel dirobek pada kisaran diameter 20 mm sebanyak tiga kali. Analisis laboratorium sampel RDF dilakukan di laboratorium Universitas Rostock, Jerman.</p> <p>Beberapa aspek yang diteliti meliputi Kadar Abu, Kadar Air, nilai Kalor, penentuan Klor (Cl).</p>	<p>mengandung tekstil (4,7%), logam (3%), kaca (2%), material komposit (2,5%), dan lain- lain. Nilai kalori RDF yang dihasilkan berkisar antara 14,83 MJ/ kg hingga 15,58 MJ/ kg sehingga layak untuk digunakan sebagai bahan bakar.</p>
--	--	--	--	--

4	(Dianda et al., 2018)	Production and characterization refuse derived fuel (RDF) from high organic an moisture contents of municipal solid waste (MSW)	<p>Penelitian dilakukan dengan mengambil sampel sampah yang berada pada TPS Banda Aceh. Kemudian dilakukan uji laboratorium karakteristik sampah berupa kadar air, kadar abu, kadar volatil, karbon dan nilai kalori. Nilai kalori digunakan sebagai acuan untuk energi RDF yang diukur menggunakan bom kalorimeter.</p> <p>.</p>	<p>Hasil analisis nilai kalori dari RDF Banda Aceh MSW sekitar 25–42% lebih tinggi dari nilai kalori minimum RDF di Finland, UK, dan Italia. RDF dari MSW Banda Aceh juga sudah memenuhi nilai kalori minimum RDF yang digunakan sebagai bahan bakar untuk proses pembakaran utama di industri semen yaitu sebesar 4.780 kkal/kg. Temuan ini menunjukkan sampah MSW Banda Aceh bisa diproduksi dalam skala komersial dan digunakan untuk menggantikan bahan bakar pada industri semen.</p>
---	-----------------------	---	---	--

5	(Gallardo et al., 2014)	Analysis of refuse-derived fuel from the municipal solid waste reject fraction and its compliance with quality standards	Pada penelitian diatas, sampel RDF diambil dari pabrik MBT yang terletak di Onda, sebuah kota di provinsi Castellón, di pantai timur Spanyol. Sampah yang digunakan sebagai RDF meliputi bahan organik, kertas, logam, dan plastik. Beberapa sampel representatif diambil semalama 2 minggu berturut-turut. Kemudian diujikan dalam laboratorium yang meliputi beberapa karakteristik sampah seperti kadar abu, kadar air, dan nilai kalor.	Berdasarkan penelitian menunjukkan didapatkan data bahwa nilai kalori rata-rata yang dihasilkan dari MSW di Onda adalah sebesar 20.6 MJ/kg. Menurut standar Eropa EN 15359 hampir semua parameter hasil uji laboratorium sudah memenuhi. Termasuk nilai kalor yang digunakan sebagai acuan penggunaan energi RDF.
6	(Brás et al., 2017)	Refused Derived Fuel from Municipal Solid Waste Rejected Fractions – a case	Metodologi pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan standar EN 15442 dan EN 15443 untuk	Nilai kalori pada residu sampah perkotaan ini adalah sebesar 23.7 MJ/kg, nilai ini

		Study	pedoman pengambilan sampel dan uji sampel laboratorium. Analisis dilakukan terhadap beberapa parameter seperti kelembaban, volatile matter, karbon tetap dan kadar abu. Sedangkan nilai kalori diukur dengan menggunakan alat bom kalorimeter.	lebih kecil dari bahan bakar konvensional namun masih memenuhi persyaratan yang diberikan dalam standar Eropa untuk RDF. Jika diuraikan maka didapatkan bahwa tidak semua jenis sampah memiliki nilai kalor yang tinggi. Nilai kalor tertinggi didapat dari jenis plastik dengan nilai kalor sebesar 25 MJ/kg. Nilai kalor ini dipengaruhi oleh besarnya kadar air dan kadar abu yang ada dalam material sampah.
7	(Aliaghaei et al., 2020)	Evaluating of Refuse Derived Fuel (RDF) Production from Municipal Solid Waste (Case Study: Qazvin Province)	Pada penelitian ini, pengambilan sampel dilakukan dalam musim panas dan musim gugur selama 6 hari berturut-turut. Pengambilan sampel dipilih secara acak.	Hasil analisa nilai kalor pada musim panas didapatkan sebesar 9.158 KJ/Kg dan 9.413 KJ/Kg di musim gugur. Hasil tersebut berasal dari

			<p>Sampah yang diambil berasal dari truk pembuangan sebanyak 100 kg. Sampah tersebut diuji karakteristik fisika nya meliputi kadar air dan karakteristik kimia meliputi nilai kalor.</p>	<p>campuran sampah organik dan anorganik. Sedangkan jika tanpa sampah organik didapatkan nilai sebesar 20.681 KJ/Kg di musim panas dan 21.260 KJ/Kg di musim gugur. Hasil tersebut menunjukkan bahwa MSW dari provinsi Qazvin memiliki potensi untuk bisa menghasilkan RDF. Dalam hal ini nilai kalor RDF yang tinggi dapat digunakan untuk menggantikan sebagian bahan bakar konvensional yang dapat digunakan pada industri semen.</p>
--	--	--	--	--

8	(Himawanto et al., 2010)	Pengolahan Sampah Kota Terseleksi Menjadi Refused Derived Fuel Sebagai Bahan Bakar Padat Alternatif	Jenis sampah dalam penelitian ini adalah sampah kota yang terdiri atas bambu, daun, plastik kemasan dan styrofoam. Sampel kemudian dan dihaluskan hingga lolos ukuran 20 mesh. Setelah bahan baku terkumpul maka bahan baku yang berupa sampah organik dan sampah plastik tersebut diuji secara proximate dan uji nilai kalor, pengujian meliputi nilai kalor (heatingvalue) sesuai standar ASTM 2015.	Dari hasil uji proksimat, tampak bahwa sampah anorganik memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibanding sampah organik. nilai kalor tertinggi adalah styrofoam sebesar 9.4 kkal/kg. Dengan nilai kalor terkecil yaitu pada sampah bambu dengan angka sebesar 4 kkal/kg. Jika dilakukan akumulasi nilai kalor, maka nilai tersebut sudah memenuhi standar eropa untuk RDF.
9	(Maulana, 2019)	Analisis Potensi Refuse Derived Fuel (RDF) Dari Sampah Pada Tempat Pembuangan Akhir (TPS) Di Kabupaten	Dalam penelitian ini sampel sampah diambil dari TPS di Kabupaten Tegal. Kemudian setelah itu dilakukan Uji laboratorium terhadap sampel	Hasil analisis nilai kalor pada sampah TPS tersebut berada diatas nilai kalor optimal yang dibutuhkan insenerator pirolisis yaitu

		Tegal Sebagai Bahan Bakar Incinerator Pirolisis	sampah dengan beberapa parameter. Untuk Uji kalor dilakukan dengan menggunakan bom kalorimeter. Untuk kadar air menggunakan standar ASTM D-3173-03. Sedangkan kadar abu menggunakan standar ASTM D-3174-04.	3248.809(kkal/kg).Sedangkan nilai yang diperoleh dari analisis ini adalah sebesar 3973.45 (kkal/kg). Dengan demikian sampah dari TPS tersebut memenuhi untuk dijadikan sebagai bahan bakar pengganti bahan bakar fosil.
10	(Sembiring et al., 2018)	Potensi Material Sampah Combustible pada Zona II TPS Jatibarang Semarang sebagai Bahan Baku RDF (Refuse Derived Fuel)	Sampel yang diambil merupakan sampah yang berada pada TPS dengan kedalaman 0-3 meter dengan perkiraan umur sampah pada lapisan 3 meter adalah 8 tahun, dengan data timbulan 700 ton/hari. Sampel yang diambil tersebar dalam 3 titik. Kemudian sampel dicacah dan diambil 100	Hasil yang diperoleh dari pengukuran nilai kalor pada kedalaman sampel 0-1 m adalah sebesar 5.69 kkal/ton. Untuk kedalaman 1-2 m didapatkan nilai sebesar 6.07 kkal/ton. Sedangkan untuk kedalaman 2-3 m nilai kalor yang diperoleh adalah sebesar

			gram untuk uji bom kalorimeter di laboratorium.	5.94 kkal/ton. Kalor minimal yang bisa dijadikan bahan bakar adalah 2-2,5 kkal/ton, Sedangkan nilai hasil uji material sampah combustible Zona Aktif II TPS Jatibarang berada pada 5-6,2 kkal/ton.
--	--	--	---	--