



SURAT KETERANGAN
MELAKUKAN KEGIATAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
No. 094/C.02.01/LPPM/II/2021

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Iwan Juwana, S.T., M.EM., Ph.D.
Jabatan : Kepala
Unit Kerja : LPPM-Itenas
JL. P.K.H. Mustafa No.23 Bandung

Menerangkan bahwa,

No.	Nama	NPP	Jabatan
1	Tri Sigit Purwanto, S.T., M.T.	20020118	Tenaga Ahli
2	M. Pramuda Nugraha, S.T., M.T.	20130301	Tenaga Ahli
3	Dr. M. Rangga Sururi, S.T., M.T.	20040909	Tenaga Ahli

Telah melakukan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat sebagai berikut:

Judul Penelitian : Kajian Pradesain Prototipe Mesin Pengolah Sampah Mandiri untuk Energi
Tempat : Situsaeur, Bojongloa Kidul, Kota Bandung
Waktu : 02 Desember 2020
Sumber Dana : PT. Siwa Bangun Persada

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Bandung, 10 Februari 2021
Lembaga Penelitian dan Pengabdian
kepada Masyarakat (LPPM) Itenas
Kepala,

Iwan Juwana, S.T., M.EM., Ph.D.
NPP. 20010601



SURAT TUGAS
No. 411/J.16.01/LPPM/XII/2020

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Iwan Juwana, S.T., M.EM., Ph.D.
Jabatan : Kepala
Unit Kerja : LPPM-ITENAS
JL. PHH Mustafa No. 23 Bandung

Menerangkan bahwa :

Nama	NPP	Jabatan
Tri Sigit Purwanto, S.T., M.T.	20020118	Dosen
M. Pramuda Nugraha, S.T., M.T.	20130301	Dosen
Dr. M. Rangga Sururi, S.T., M.T.	20040909	Dosen

Ditugaskan untuk melakukan,

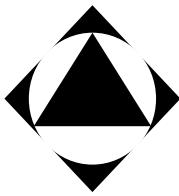
Kegiatan : Kajian Pradesain Prototipe Mesin Pengolah Sampah Mandiri untuk Energi
Sebagai : Tenaga Ahli
Tempat : Situsaeur, Bojongloa Kidul, Kota Bandung
Waktu : 02 Desember 2020

Demikian surat tugas ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Bandung, 01 Desember 2020

Lembaga Penelitian dan Pengabdian
kepada Masyarakat (LPPM) Itenas
Kepala,

Iwan Juwana, S.T., M.EM., Ph.D.
NPP 20010601



SURAT KETERANGAN
MELAKUKAN KEGIATAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
No. 094/C.02.01/LPPM/II/2021

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Iwan Juwana, S.T., M.EM., Ph.D.
Jabatan : Kepala
Unit Kerja : LPPM-Itenas
JL. P.K.H. Mustafa No.23 Bandung

Menerangkan bahwa,

No.	Nama	NPP	Jabatan
1	Tri Sigit Purwanto, S.T., M.T.	20020118	Tenaga Ahli
2	M. Pramuda Nugraha, S.T., M.T.	20130301	Tenaga Ahli
3	Dr. M. Rangga Sururi, S.T., M.T.	20040909	Tenaga Ahli

Telah melakukan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat sebagai berikut:

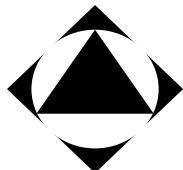
Judul Penelitian : Kajian Pradesain Prototipe Mesin Pengolah Sampah Mandiri untuk Energi
Tempat : Situsaeur, Bojongloa Kidul, Kota Bandung
Waktu : 02 Desember 2020
Sumber Dana : PT. Siwa Bangun Persada

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Bandung, 10 Februari 2021

Lembaga Penelitian dan Pengabdian
kepada Masyarakat (LPPM) Itenas
Kepala,

Iwan Juwana, S.T., M.EM., Ph.D.
NPP. 20010601



SURAT TUGAS
No. 411/J.16.01/LPPM/XII/2020

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Iwan Juwana, S.T., M.EM., Ph.D.
Jabatan : Kepala
Unit Kerja : LPPM-ITENAS
JL. PHH Mustafa No. 23 Bandung

Menerangkan bahwa :

Nama	NPP	Jabatan
Tri Sigit Purwanto, S.T., M.T.	20020118	Dosen
M. Pramuda Nugraha, S.T., M.T.	20130301	Dosen
Dr. M. Rangga Sururi, S.T., M.T.	20040909	Dosen

Ditugaskan untuk melakukan,

Kegiatan : Kajian Pradesain Prototipe Mesin Pengolah Sampah Mandiri untuk Energi
Sebagai : Tenaga Ahli
Tempat : Situsaeur, Bojongloa Kidul, Kota Bandung
Waktu : 02 Desember 2020

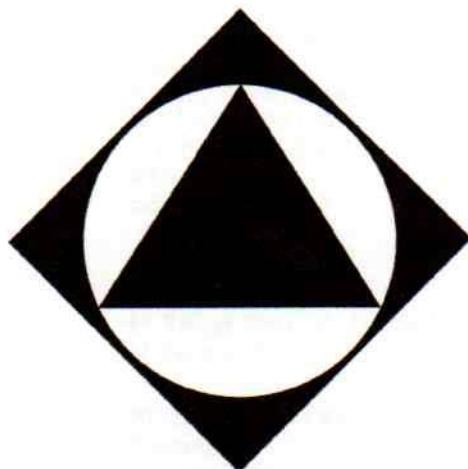
Demikian surat tugas ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Bandung, 01 Desember 2020

Lembaga Penelitian dan Pengabdian
kepada Masyarakat (LPPM) Itenas
Kepala,

Iwan Juwana, S.T., M.EM., Ph.D.
NPP 20010601

LAPORAN KEGIATAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT



KAJIAN PRADESAIN PROTOTIPE MESIN PENGOLAH SAMPAH MANDIRI UNTUK ENERGI

Ketua Tim :
Tri Sigit Purwanto, ST., MT (NIDN. 0417037701)

Anggota Tim :
M. Rangga Sururi, Ph.D (NIDN. 0403047803)
M. Pramuda N. S., ST., MT. (NIDN. 0426028301)

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
TAHUN 2021**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul
Nama Mitra 1

Ketua Tim Pengusul

NIDN/NIDK
Nama lengkap (beserta gelar)
Pangkat/Golongan
Jenis Kelamin
Program Studi/Fakultas
Bidang Kehalain
Alamat Kantor
Telepon/Faks Kantor
Alamat Rumah
Nomor HP/WA
Email
ID Sinta

: Kajian Pradesain Prototipe Mesin Pengolah Sampah Mandiri Untuk Energi
: PT. Siwa Bangun Persada

: 0417037701
: Tri Sigit Purwanto, ST., MT.
: Lektor/3C
: Laki-laki
: Teknik Mesin/Teknologi Industri
: Konversi Energi
: Jl. PKH. Hasan Mustopa No. 23 Bandung 40124
: +62-22-7272215 / +62-227202892
: Jl. Giri Mekar Indah 7 No. 53
: 0811227723
: trisigtp@itenas.ac.id
:-

Anggota Tim Pengusul

Jumlah Anggota
Nama Anggota/bidang keahlian
Nama Anggota/bidang keahlian

: 2 orang
: M. Rangga Sururi, Ph. D/Teknik Lingkungan
: M. Pramuda N. S., ST., MT./Konversi energi

Lokasi Kegiatan

Nama Mitra
Wilayah Mitra 1
• Desa/Kecamatan
• Kota/Kabupaten
• Provinsi
• Jarak PT ke Mitra

: PT. Siwa Bangun Persada
: Bandung
: Situsaeur/Bojongloa kidul
: Bandung
: Jawa Barat
: 5 km

Luaran yang dihasilkan
Waktu Pelaksanaan

: Laporan Desain
: 1 Bulan

Total Biaya

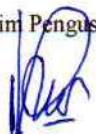
: Rp. 10.000.000

Bandung, 21 Januari 2021

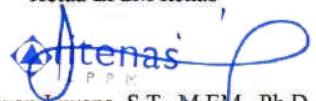
Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknologi Industri

Ketua Tim Pengusul


(Jono Suhartono, ST., MT., Ph.D)
NIDN : 0406017801


(Tri Sigit Purwanto, ST., MT.)
NIDN : 0417037701

Disahkan oleh :
Ketua LP2M Itenas


Iwan Juwana, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIDN : 0403017701



BAB I PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Indonesia adalah negara yang terus berkembang dengan diikuti pertumbuhan populasi, ekonomi dan taraf kehidupan penduduk. Pertumbuhan tersebut didorong dengan adanya peningkatan kegiatan produksi dan konsumsi. Menurut Damanhuri (2010), Pertumbuhan penduduk yang demikian pesat di daerah perkotaan (urban) telah mengakibatkan meningkatnya jumlah timbulan sampah.

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengolahan Sampah, sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Sedangkan pengolahan sampah adalah kegiatan yang sistematis, menyeluruh dan berkesinambungan yang meliputi pengurangan dan penanganan sampah.

Dalam hal ini penanganan masalah sampah membutuhkan adanya kerja sama yang baik antara semua pihak yang terkait. Pradigma pengolahan sampah juga harus didasarkan pada konsep berwawasan lingkungan. Pengelolaan sampah dengan prinsip pembangunan berkelanjutan dapat diimplementasikan dengan merubah sampah menjadi energi (*waste to energy*).

Melihat hal tersebut Pemerintah Provinsi Jawa Barat Dinas Energi dan Sumber daya Mineral melalui UPTD Laboratorium Energi dan Sumber Daya Mineral berinisiatif untuk melakukan ***Kajian Pradesain Prototipe Mesin Pengolah Sampah Mandiri***.

Harapan dari dimulainya pemanfaatan sampah untuk energi selain dari aspek ekonomi juga bertujuan untuk mengurangi timbulan volume sampah yang terus bertambah khususnya untuk wilayah Kota Bandung - Jawa Barat.

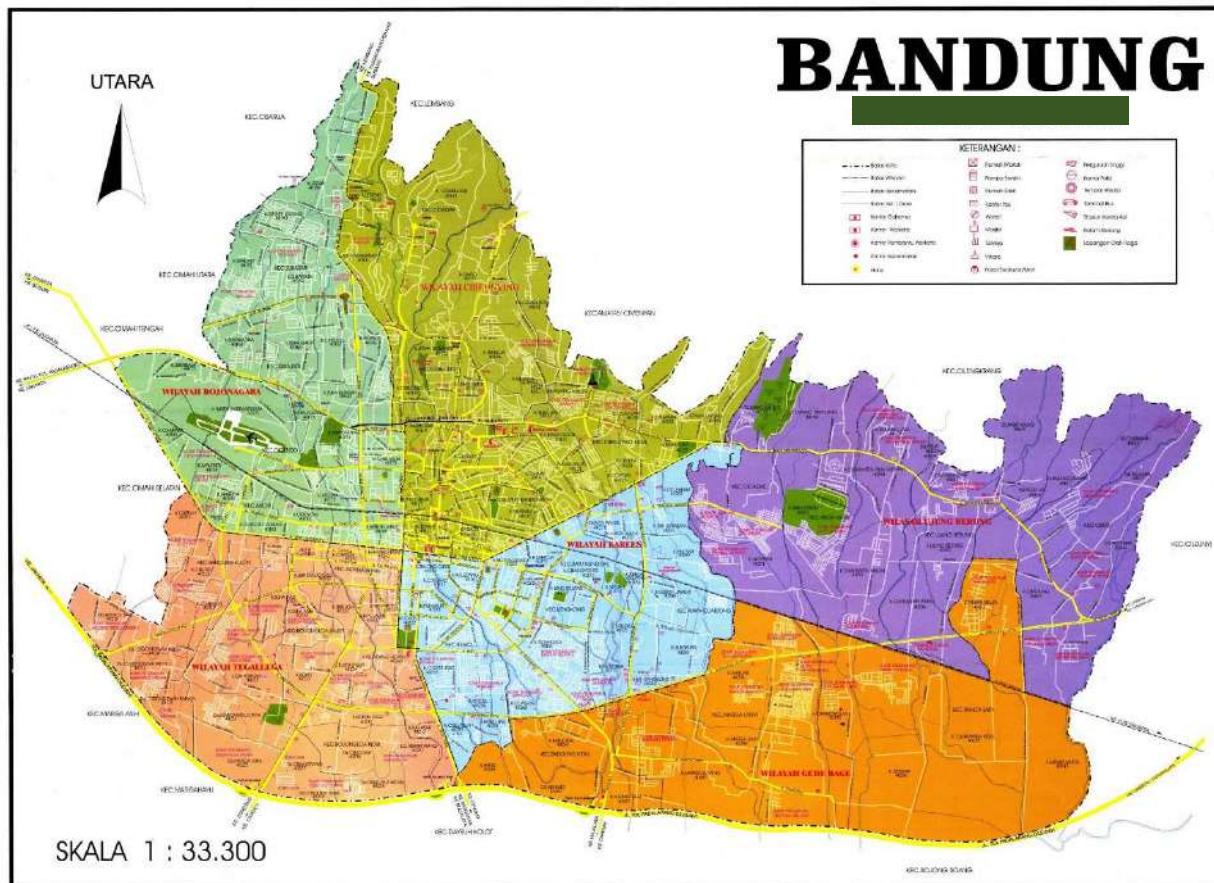
1.2. LOKASI RENCANA

1.2.1. Deskripsi Lokasi

Kota Bandung terletak di wilayah Jawa Barat dan merupakan Ibu Kota Provinsi Jawa Barat. Kota Bandung terletak di antara 107° 32' 38,91" Bujur Timur dan 60° 55' 19,94" Lintang Selatan. Lokasi Kota Bandung cukup strategis dilihat dari segi komunikasi, perekonomian dan keamanan.

Secara topografi Kota Bandung terletak pada ketinggian 791 meter di atas permukaan laut (mdpl), titik tertinggi di daerah Utara dengan ketinggian 1.050 mdpl dan terendah di sebelah Selatan 675 mdpl. Kota Bandung bagian selatan sampai dengan lajur lintas kereta api berada pada permukaan tanah relatif datar dan bagian utara berbukit-bukit.

Iklim Kota Bandung dipengaruhi oleh iklim pegunungan yang lembab dan sejuk. Temperatur rata-rata $23,6^{\circ}\text{C}$, curah hujan rata-rata 156,4 mm dan jumlah hari hujan rata-rata 15 hari per bulannya.



Gambar 1. 1 Peta Bandung

Kota Bandung memiliki luas 16.770 ha dengan populasi sebanyak 2.503.708 jiwa dan memiliki kepadatan penduduk sebesar 149,3 jiwa/ha (BPS Kota Bandung, 2018).

1.3. MAKSUD dan TUJUAN

- a. Maksud kegiatan ini adalah untuk membuat Kajian Pradesain Prototipe Mesin Pengolah Sampah Mandiri Untuk Energi.
 - b. Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk menyusun kajian yang akan digunakan sebagai pedoman teknis dalam pelaksanaan tahapan selanjutnya yaitu tahap pembuatan DED dan tahap konstruksi prototipe mesin.

1.4. RUANG LINGKUP

Dalam perencanaan Pradesain Prototipe Mesin Pengolah Sampah Mandiri Untuk Energi terbagi kedalam 3 bagian yaitu, Perencanaan Mesin Insinerasi, Perencanaan Pembangkit Ketenagalistrikan dan Perencanaan Sarana Pendukung Lingkungan.



1.5. PERATURAN DAN STANDAR SEKTOR PERSAMPAHAN

Pemberlakuan Standar wajib SNI, terdiri dari:

- Undang-Undang No.23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup
- Undang-Undang No.18 Tahun 1997 tentang Pajak dan Retribusi Daerah
- Undang-Undang No. 22 Tahun 1999 Tentang Pemerintah Daerah
- Undang-Undang No.25 Tahun 1999 Tentang Primbangan Keunagan antara Pemerintah Pusat dan Daerah
- Peraturan Pemerintah No.66 Tahun 2001 Tentang Retribusi Daerah
- Peraturan Pemerintah No.16 tahun 2005 Tentang Pengembangan Sistem Penyediaan Air minum
- Peraturan Pemerintah No.27 Tahun 1999 Tentang Analisis Mengenai Dampah Lingkungan (AMDAL)
- Peraturan Menteri PU No.69/PRT/1995 Tentang Pedoman Teknis Mengenai Dampak Lingkungan Proyek Bidang Pekerjaan Umum
- Keputusan Menteri PU No.296/1996 Tentang Petunjuk Teknis Penyusunan UKL dan UPL Dep.PU
- Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No.KEP-02/MENKLH/1998 Tentang Penetapan Baku Mutu Lingkungan
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.377/1996 Tentang Petunjuk tata Laksana UKL dan UPL Proyek Bidang PU
- Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No.KEP-12/MENLH/3/1994 Tentang Pedoman Umum Penyusunan Upaya Pengelolaan Lingkungan dan Upaya Pemantauan Lingkungan.
- Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No.296/1996 Tentang Petunjuk Teknis Penyusunan UKL dan UPL Proyek Bidang Pekerjaan Umum
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.KEP-3/MENLH/2000 Tentang Jenis Usaha atau Kegiatan yang Wajib dilengkapi dengan analisis Mengenai Dampak Lingkungan



- Disamping perundang-undangan, peraturan dan kebijakan diatas maka pengelolaan persampahan secara operasional harus mengacu pada standarisasi yang sudah ada seperti:
- SK-SNI 19-2454-1991 dan SK-SNI 19-3242-1994 tentang Cara Pengelolaan Sampah Perkotaan
- SK SNI 91 dan SNI 19-3241-1994 tentang Cara Pemilihan Lokasi Tempat Pembuangan Akhir Sampah.
- SNI No 19-2454-2002 tentang Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan
- SNI M-36-1991-2003 Tentang Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan.



BAB II STUDI

2.1. UMUM

2.1.1. Sampah dan Pengelolaan Sampah

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah mendefinisikan sampah sebagai hasil dari sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Sementara SNI 19-2454-1991 tentang cara pengelolaan teknik sampah perkotaan, mendefinisikan sampah sebagai limbah yang bersifat padat dan terdiri atas zat organik dan anorganik yang dianggap tidak berguna lagi dan harus dikelola agar tidak membahayakan lingkungan dan melindungi investasi pembangunan.

Sampah dibagi menjadi 2 kelompok besar, yaitu: (i) Sampah dari permukiman, atau Sampah Rumah Tangga (SRT) dan (ii) Sampah dari non-permukiman yang Sejenis Sampah Rumah Tangga (SSRT), seperti dari pasar, komersial dan lain-lain. Sampah dari kedua jenis sumber tersebut dikenal sebagai sampah domestik. Sedang sampah non-domestik adalah sampah atau limbah yang bukan sejenis sampah rumah tangga, misalnya limbah dari proses industri. Bila sampah domestik ini berasal dari lingkungan perkotaan dikenal sebagai *municipal solid waste* (MSW).

Sampah merupakan salah satu isu lingkungan prioritas di wilayah perkotaan, karena dapat mendegradasi kualitas lingkungan. Pengelolaan sampah pada skala perkotaan harus dilakukan secara komprehensif dan dengan menggunakan prinsip kehati-hatian. UU No. 18/2008 menyatakan bahwa pengelolaan sampah terdiri dari kegiatan pengurangan dan penanganan sampah yang berwawasan lingkungan. Mengurangi dan menangani sampah yang dimaksud adalah pengurangan sampah berbasis 3R (Reduce, Reuse, dan Recycle) dan penanganan sampah dalam bentuk teknik operasional pengelolaan sampah. Berikut diberikan prinsip-prinsip dalam pengelolaan sampah:

- a. Paradigma lama penanganan sampah secara konvensional yang bertumpu pada proses pengumpulan, pengangkutan dan pembuangan akhir perlu diubah dengan mengedepankan terlebih dahulu proses pengurangan dan pemanfaatan sampah.
- b. Pengurangan dan pemanfaatan sampah secara signifikan dapat mengurangi kebutuhan pengelolaan sehingga sebaiknya dilakukan di semua tahap yang memungkinkan, baik dari sumber, TPS, Instalasi Pengolahan dan TPA dengan demikian diharapkan target pengurangan sampah dapat terpenuhi.
- c. Pengurangan dan pemanfaatan sampah sejak di sumbernya akan memberikan dampak positif, dalam hal ini peran serta masyarakat sangat penting.



Tchobanoglous, dkk. (1993) menjelaskan bahwa pengelolaan sampah diartikan sebagai cara untuk mengontrol timbulan sampah pada aspek teknik operasional yang dimulai dari pewadahan, pengumpulan, pemindahan, pengangkutan, dengan memperhatikan aspek-aspek tertentu seperti kesehatan, ekonomi, keteknikan, konservasi, estetika, lingkungan, dan sikap masyarakat. Lebih lanjut Damanhuri menjelaskan penjabaran dari aspek teknik operasional sebagai berikut (Damanhuri, 2016):

1. Pewadahan – bentuk penanganan sampah awal yang dikelompokkan/ dipisahkan sesuai dengan dengan sifat, jenis dan jumlah sampah.
2. Pengumpulan – bentuk penanganan sampah yang merupakan pengambilan dan pemindahan sampah dari sumber ke tempat penampungan senentar (TPS) baik 3R, terpadu, maupun bank sampah.
3. Pemindahan dan pengangkutan – bentuk penanganan sampah yang merupakan pengambilan sampah dari sumber/TPS langsung menuju TPA.
4. Pengolahan – bentuk penanganan sampah yang dilakukan dengan mengubah karakteristik, jumlah, serta komposisi sampah apabila sampah akan dikembalikan ke lingkungan.
5. Pemrosesan akhir – bentuk penanganan sampah akhir dimana sampah dikembalikan ke media lingkungan.

2.1.2. Pengurangan dan Penanganan Sampah

UU Nomor 18 Tahun 2008 menyatakan pengelolaan sampah didefinisikan sebagai kegiatan yang sistematis, menyeluruh dan berkesinambungan yang meliputi **pengurangan** dan **penanganan sampah**. Selanjutnya PP 81 Tahun 2012, menyatakan bahwa setiap orang wajib melakukan pengurangan sampah dan penanganan sampah. Selain perseorangan, produsen juga wajib melakukan pembatasan timbulan sampah dengan:

- a. Menyusun rencana dan/atau program pembatasan timbulan sampah sebagai bagian dari usaha atau kegiatannya.
- b. Menghasilkan produk dengan menggunakan kemasan yang mudah diurai oleh proses alam dan yang menimbulkan sampah sesedikit mungkin.

Pemerintah telah menetapkan target pengurangan sampah rumah tangga dan sampah sejenis rumah tangga yang dicanangkan melalui Peraturan Presiden No. 97 Tahun 2017 (PerPres No. 97/2017) sebesar 30% dari nilai timbulan sampah. UU No. 18/2008, menjelaskan bahwa pengurangan sampah dilakukan dengan 3R yaitu:

1. Pembatasan timbulan sampah (*reduce*);

Reduce atau reduksi sampah merupakan upaya untuk mengurangi timbulan sampah di lingkungan sumber dan bahkan dapat dilakukan sejak sebelum sampah dihasilkan, setiap sumber dapat melakukan upaya reduksi sampah dengan cara merubah pola hidup konsumtif, yaitu perubahan kebiasaan dari yang boros dan menghasilkan banyak sampah



menjadi hemat/efisien dan sedikit sampah, namun diperlukan kesadaran dan kemauan masyarakat untuk merubah perilaku tersebut.

2. Pendauran ulang sampah (*recycle*);

Recycle berarti mendaur ulang suatu bahan yang sudah tidak berguna (sampah) menjadi bahan lain setelah melalui proses pengolahan seperti mengolah sisa kain perca menjadi selimut, kain lap, keset kaki, dsb atau mengolah botol/plastik bekas menjadi biji plastic untuk dicetak kembali menjadi ember, hanger, pot, dan sebagainya atau mengolah kertas bekas menjadi bubur kertas dan kembali dicetak menjadi kertas dengan kualitas sedikit lebih rendah dan lain-lain.

3. Pemanfaatan kembali sampah (*reuse*);

Reuse berarti menggunakan kembali bahan atau material agar tidak menjadi sampah (tanpa melalui proses pengelolaan) seperti menggunakan kertas bolak-balik, menggunakan kembali botol bekas "minuman" untuk tempat air, mengisi kaleng susu dengan susu refill dan lain-lain.

Strategi pengurangan digambarkan pada skema yang dicantumkan pada Jaktranas khususnya Pedoman Pelaksanaan Perpres no.97/2017 terlihat pada gambar di bawah. Pengurangan sendiri dimaksudkan untuk mengurangi volume sampah dengan terlebih dahulu mengelola sampah ke Pusat Daur Ulang atau TPS 3R yang selanjutnya dilakukan proses pemilihan serta proses lanjutan lainnya. Indikator dan contoh strategi yang dilakukan sebagai target pengurangan sampah adalah sebagai berikut:

1. Besaran Penurunan Jumlah Timbulan Sampah Rumah Tangga (SRT) dan Sampah Sejenis Rumah Tangga (SSRT) per kapita.

Contoh program yang dilakukan adalah menumbuhkan kebiasaan menggunakan peralatan yang dapat dipakai beberapa kali di masyarakat, mengurangi pemakaian bungkus kemasan atau kantong plastik dengan dukungan pemerintah dan pelaku industri serta mengajak pihak dunia usaha untuk lebih memperhatikan penggunaan kemasan.

2. Besaran Peningkatan Jumlah SRT dan SSRT yang terdaur ulang di sumber sampah.

Contoh program yang dilakukan adalah meningkatkan kapasitas mekanisme dan jumlah bank sampah yang dikelola langsung oleh masyarakat.

3. Besaran Peningkatan Jumlah SRT dan SSRT yang termanfaatkan kembali di sumber sampah.

Contoh program yang dilakukan adalah meningkatkan kapasitas mekanisme dan jumlah bank sampah yang dikelola langsung oleh masyarakat.



3. Besaran Peningkatan Jumlah SRT dan SSRT yang diangkut ke pusat pengolahan SRT dan SSRT untuk menjadi bahan baku dan atau sumber energi.

Contoh program yang dilakukan adalah peningkatan penyediaan TPS, pengadaan lahan TPS, peningkatan kuantitas dan kualitas TPS sesuai dengan kebutuhan masing – masing, peningkatan kapasitas teknologi, sarana dan prasarana pengolahan sampah.

4. Besaran Peningkatan Jumlah SRT dan SSRT yang terolah menjadi bahan baku.

Contoh program yang dilakukan adalah peningkatan penyediaan TPS, pengadaan lahan TPS, peningkatan kuantitas dan kualitas TPS sesuai dengan kebutuhan masing – masing Kota/Kabupaten, peningkatan kapasitas teknologi, sarana dan prasarana pengolahan sampah.

5. Besaran Peningkatan Jumlah SRT dan SSRT yang termanfaatkan menjadi sumber energi.

Contoh program yang dilakukan adalah peningkatan penyediaan TPS, pengadaan lahan TPS, peningkatan kuantitas dan kualitas TPS sesuai dengan kebutuhan masing – masing Kota/Kabupaten, peningkatan kapasitas teknologi, sarana dan prasarana pengolahan sampah.

6. Besaran Penurunan Jumlah SRT dan SSRT yang terproses di tempat pemrosesan akhir.

Contoh program yang dilakukan adalah peninjauan kembali jumlah TPA yang sudah menerapkan metoda control/sanitary landfill, meningkatkan TPA yang menerapkan metoda sanitary landfill, pengembangan data dasar sistem operasional TPA yang diintegrasikan dengan sistem informasi.

Untuk menerapkan pengelolaan sampah terpadu dengan 3R di kawasan permukiman, perlu memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- Komposisi dan karakteristik sampah, untuk memperkirakan jumlah sampah yang dapat dikurangi dan dimanfaatkan.
- Karakteristik lokasi dan kondisi sosial ekonomi masyarakat setempat, untuk mengidentifikasi sumber sampah dan pola penanganan sampah 3R yang sesuai dengan kemampuan masyarakat setempat.
- Metode penanganan sampah 3R untuk mendapatkan formula teknis dan prasarana dan sarana 3R yang tepat dengan kondisi masyarakat setempat.
- Proses pemberdayaan masyarakat, untuk menyiapkan masyarakat dalam perubahan pola penanganan sampah dari proses konvensional “ kumpul - angkut - buang ” menjadi 3R.
- Keberlanjutan pengelolaan, untuk menjamin kesinambungan proses pengelola sampah yang dapat dilakukan oleh masyarakat secara mandiri.
- Minimisasi sampah hendaknya dilakukan sejak sampah belum terbentuk yaitu dengan menghemat penggunaan bahan, membatasi konsumsi sesuai dengan kebutuhan, memilih bahan yang mengandung sedikit sampah dsb.



- Upaya memanfaatkan sampah dilakukan dengan menggunakan kembali sampah sesuai fungsinya seperti halnya pada penggunaan botol minuman atau kemasan lainnya.
- Upaya mendaur ulang sampah dapat dilakukan dengan memilah sampah menurut jenisnya baik yang memiliki nilai ekonomi sebagai material daur ulang (kertas, plastik, gelas/logam, dll) maupun sampah B3 rumah tangga yang memerlukan penanganan khusus (baterai, lampu neon, kaleng, sisa insektisida, dll) dan sampah bekas kemasan (bungkus mie instant, plastik kemasan minyak, dll).
- Pengomposan sampah diharapkan dapat diterapkan di sumber (rumah tangga, kantor, sekolah, dll) yang akan secara signifikan mengurangi sampah pada tahap berikutnya.

2.1.3. Pengolahan Sampah

Pengolahan sampah adalah kegiatan mengubah karakteristik, komposisi, dan jumlah sampah. Pada dasarnya, setiap sumber penghasil sampah (individu/kawasan/pemerintahan) perlu melakukan pengolahan sampah. Hal tersebut ditujukan sebagai salah satu upaya penanganan sampah. Pengolahan sampah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 14 huruf d dalam PerMen PU No. 3/2013 meliputi kegiatan:

- pemedatan;
- pengomposan;
- daur ulang materi; dan
- mengubah sampah menjadi sumber energi.

Selain itu, pengolahan sampah dipertimbangkan berdasarkan karakteristik sampah, teknologi pengolahan yang ramah lingkungan, keselamatan kerja; dan kondisi sosial masyarakat (PerMen PU No. 3/2013).

Pemilihan teknologi yang paling cocok untuk setiap wilayah pelayanan akan didasarkan kepada data-data tentang laju timbulan sampah, karakteristik timbulan sampah, perkiraan volume sampah yang dihasilkan masyarakat, perkiraan volume sampah yang terkelola baik individual maupun komunal, teknis teknologis prasarana sampah, serta jumlah dan kualitas prasarana sampah. Analisa karakteristik sampah dilakukan dengan 3 jenis uji karakteristik, yakni *Proximate Analysis*, *Ultimate Analysis*, dan Uji Kalor. Ketiga uji karakteristik tersebut akan melihat secara khusus kepada parameter-parameter seperti *moisture*, *volatile matter*, *fixed carbon*, Abu, Rasio C/N, Hidrogen, Sulfur, dan Nilai Kalor Sampah. Metoda penelitian yang digunakan untuk masing-masing parameter tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:



Tabel 2. 1 Metoda Penelitian Karakteristik Sampah

Jenis Uji Karakteristik	Parameter yang Diuji	Metoda Pengujian
Proximate Analysis	Moisture	Pemanasan oven dan furnace pada suhu 105° Celcius (ASTM D3173)
	Volatile Matter	Pemanasan oven dan furnace pada suhu 900° Celcius ISO 562
	Fixed Carbon	
	Abu	ASTM D3174
	Rasio C/N	
Ultimate Analysis	Karbon	ASTM D5373
	Hidrogen	
	Nitrogen	
	Sulfur	ASTM D4239
Uji Kalor	Nilai Kalor Sampah	Bomb Calorimeter
		Kalkulasi Dulong
		Kalkulasi Chang
		Kalkulasi Vondracek

2.2. KONDISI SAMPAH KOTA BANDUNG

2.2.1. Pengelolaan Sampah di Kota Bandung

Kota Bandung memiliki luas 16.770 ha dengan populasi sebanyak 2.503.708 jiwa dan memiliki kepadatan penduduk sebesar 149,3 jiwa/ha (BPS Kota Bandung, 2018). Kepadatan penduduk di setiap waktunya akan meningkat beriringan dengan peningkatan jumlah kawasan permukiman; teratur ataupun tidak teratur. Pertumbuhan kawasan permukiman tidak hanya dipengaruhi oleh peningkatan kepadatan penduduk, tetapi diiringi dengan pertumbuhan ekonomi (Rachman, 2010).

2.2.1.1. Sistem Pengelolaan Sampah di Kawasan Bebas Sampah

Peraturan Daerah Kota Bandung No. 9 Tahun 2019 (PerDa Kota Bandung No. 9/2019) juga menjelaskan pengurangan sampah dapat dilakukan dengan cara:

- menggunakan bahan yang dapat digunakan ulang, bahan yang dapat didaur ulang, dan/atau bahan yang mudah diurai oleh proses alam; dan/atau
- mengumpulkan dan menyerahkan kembali sampah dari produk dan/atau kemasan yang sudah digunakan.

Pengolahan sampah dalam KBS menetapkan dua pemanfaatan sampah dalam bentuk pengolahan sampah berdasarkan sampah terpilah yaitu (DLHK Kota Bandung, 2018):

- Organik: diolah atau dimanfaatkan ke dalam biopori, komposter, takakura, bata terawang, biodigester, maggot BSF, serta menjadi makanan ternak dan kascing.
- Anorganik: pengolahan mandiri, sedekah sampah, atau diberikan kepada Bank Sampah.



Berdasarkan *Buku Petunjuk Teknis Perwujudan Kawasan Bebas Sampah (KBS) Kota Bandung* oleh BPLH Kota Bandung (2015), kawasan bebas sampah memiliki sistem pengelolaan sampah yang minimal dilakukan pada setiap wilayah yang menjadi kawasan bebas sampah. Pengelolaan tersebut meliputi:

a) Pemilahan Sampah

Pemilahan sampah dilakukan bertahap, dimulai dengan memisahkan sampah dalam 2 jenis, yaitu sampah organik yang terdiri dari sisa makanan dan tumbuh-tumbuhan dan sampah anorganik atau sampah lainnya. Pemilahan tahap selanjutnya adalah memilah sampah dalam 4 jenis, yaitu sampah makanan dan tumbuh-tumbuhan, sampah yang bisa di daur ulang, sampah bahan berbahaya dan beracun (B3) rumah tangga, dan sampah lainnya.

b) Pengolahan Sampah Organik

Pengolahan sampah organik di kawasan contohnya dengan menggunakan lubang resapan biopori, takakura, komposter, dan biodigester untuk menghasilkan kompos, pupuk cair, dan biogas.

c) Pengelolaan Sampah Anorganik

Penanganan sampah anorganik yang bernilai jual dapat dilakukan dengan bank sampah atau melalui sedekah sampah.

d) Pengangkutan Sampah Residu

Sampah residu yang tidak dapat dikelola di kawasan akan diangkut ke TPS.

Program Kawasan Bebas Sampah yang direncanakan oleh pemerintah Kota Bandung sejak tahun 2014 sebagai kawasan yang dijadikan percontohan untuk pengelolaan sampahnya. Kawasan Bebas Sampah (KBS) adalah suatu kawasan di mana sistem pengelolaan sampahnya dijalankan secara mandiri oleh masyarakat. KBS memiliki 5 prinsip utama: keterlibatan warga, kemandirian, efisiensi, pelestarian lingkungan, dan keterpaduan. Sistem ini direncanakan, dikembangkan, dioperasikan, dikelola, dimodali, dan dimiliki oleh kelompok warga serta disahkan dan didukung oleh Pemerintah Kota Bandung (BPLH Kota Bandung, 2015).

Selain bekerja sama dengan LSM, pada tahun 2018 Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan (DLHK) Kota Bandung juga melakukan pendampingan kepada 30 kecamatan untuk mengevaluasi program KBS yang berjalan di setiap kecamatan tersebut. Selanjutnya, berdasarkan hasil evaluasi terhadap keaktifan partisipasi masyarakat, berlangsungnya pengelolaan sampah, dan pemilahan sampah terpilih 8 kelurahan yang menjadi Percontohan Kawasan Bebas Sampah yang akan diprioritaskan dalam pendampingan DLHK Kota Bandung dimulai pada bulan Januari tahun 2019. Delapan kelurahan tersebut adalah (DLHK Kota Bandung, 2018):

1. Kelurahan Sukamiskin, Kecamatan Arcamanik;
2. Kelurahan Neglasari Kecamatan Cibeunying Kaler;



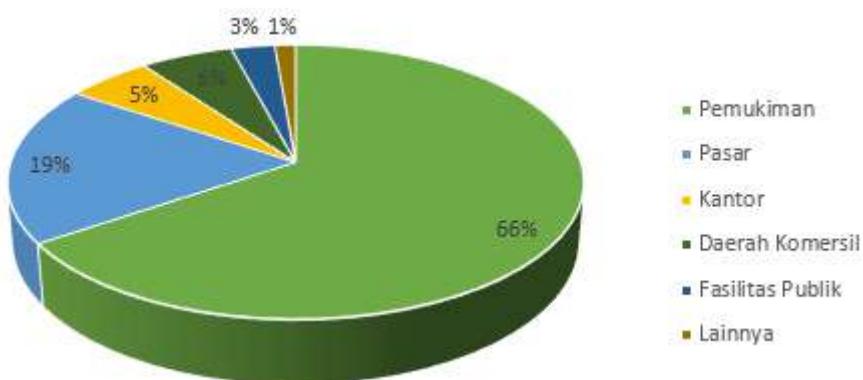
3. Kelurahan Cihaurgeulis Kecamatan Cibeunying Kaler;
4. Kelurahan Sukaluyu Kecamatan Cibeunying Kaler;
5. Kelurahan Babakan Sari Kecamatan Kiaracondong;
6. Kelurahan Kujangsari Kecamatan Bandung Kidul;
7. Kelurahan Kebon Pisang Kecamatan Sumur Bandung;
8. Kelurahan Gempol Sari Kecamatan Bandung Kulon.

Delapan kelurahan yang dijadikan Percontohan Kawasan Bebas Sampah skala kelurahan adalah kelurahan yang telah memiliki satu atau lebih Rukun Warga (RW) yang telah menjalankan kegiatan pemilahan sampah, pengolahan sampah organik di kawasan, dan pengelolaan sampah anorganik.. Target pendampingan Kelurahan Percontohan Kawasan Bebas Sampah yang harus dicapai yaitu (DLHK Kota Bandung, 2018):

1. Pengurangan sampah yang dihasilkan oleh 8 Kelurahan Percontohan Kawasan Bebas Sampah.
2. Ketaatan warga memilah di 8 Kelurahan Percontohan Kawasan Bebas Sampah.

2.2.2. Timbulan Sampah di Kota Bandung

Timbulan sampah Kota Bandung pada Tahun 2017 tercatat sudah mencapai 1.700 ton/hari (<http://data.bandung.go.id>). Sumber timbulan sampah terbesar yaitu dari aktifitas pemukiman sebesar 66% (1048.96 ton), sementara pasar menumbang sebesar 19% (300.32 ton) dan daerah komersil dan kantor hanya menyumbang 6% (95,84 ton/hari) dan 5% (88,32 ton/hari) secara berurutan.



Gambar 2. 3 Sumber timbulan sampah di Kota Bandung 2017

2.2.3. Komposisi Sampah di Kota Bandung

Komposisi sampah menunjukkan komponen- komponen yang terdapat pada sampah, biasanya dinyatakan dengan % berat. Data komposisi sampah diperlukan untuk penentuan peralatan yang diperlukan, sistem, dan manajemen program dan perencanaan (Tchobanoglous, dkk, 1993). Komposisi sampah di Kota Bandung tahun 2016, 2017 dan 2019 dapat dilihat pada Tabel di bawah. Berdasarkan pengelompokan tersebut sampah yang tergolong residu adalah



sisa makanan, kayu, ranting dan daun. Persentase jenis sampah tersebut cukup signifikan di Tahun 2016, 2017, dan 2019 yaitu 31-50%, setara dengan timbulan sebesar ± 500 -800 m³/hari. Sampah tersebut tidak memiliki nilai ekonomis dan harus di daur ulang agar tidak diangkut ke TPA.

Tabel 2. 2 Komposisi Sampah Kota Bandung Berdasarkan Karakteristik Sampah Tahun 2016-2019

Jenis Sampah	2016		2017		2019	
	Produksi Sampah (m ³ /hari)	Persentase	Produksi Sampah (m ³ /hari)	Persentase	Produksi Sampah (m ³ /hari)	Persentase
Sisa makanan	316.8	19.8	316.8	19.75	780.08	44.51
Kayu, ranting,daun	185.6	11.6	515.2	32.14	69.75	3.98
Kertas	515.2	32.2	172.8	10.78	229.94	13.12
Plastik	28.8	1.8	188.8	11.78	327.21	18.67
Logam	68.8	4.3	68.8	4.29	15.95	0.91
Kain	57.6	3.6	56	3.49	83.25	4.75
Karet dan Kulit	30.4	1.9	30.4	1.9	41.71	2.38
Kaca	56	3.5	57.6	3.59	132.67	7.57
Lainnya	340.8	21.3	196.8	12.28	72.03	4.11
Total	1600	100	1603.2	100	1752.59	100

2.2.4. Daerah Pelayanan PD Kebersihan Kota Bandung

Daerah pelayanan Perusahaan Daerah Kebersihan Kota Bandung meliputi seluruh wilayah Kota Bandung yang memiliki luas 16.729.650 Ha. Wilayah Kota Bandung dibagi menjadi 4 (empat) wilayah operasi pelayanan kebersihan yaitu, Bandung Timur, Bandung Utara, Bandung Barat dan Bandung Selatan dengan rincian (Perusahaan Daerah (PD) Kebersihan, 2018):

- Wilayah Bandung Barat, meliputi : Kecamatan Andir, Astana Anyar, Bojongloa Kidul, Babakan Ciparay, Bandung Kulon, dan Cicendo.
- Wilayah Bandung Utara, meliputi : Kecamatan Cicadap, Coblong, Sukasari, Sukajadi, Bandung Wetan, Cibeunying Kaler, dan Cibeunying Kidul.
- Wilayah Bandung Selatan, meliputi : Kecamatan Sumur Bandung, Kiara Condong, Regol, Lengkong, Batununggal, dan Badung Kidul.
- Wilayah Bandung Timur, meliputi : Kecamatan Antapani, Arcamanik, Ujung Berung, Cibiru, Rancasari, Mandalajati, Cinambo, Panyileukan, Buah Batu, dan Gede Bage.

Sarana terpenting pada operasional pengumpulan adalah TPS, dari hasil identifikasi didapatkan 4 klasifikasi TPS berdasarkan alur kerjanya sebagai berikut:



a. TPS Ritasi

TPS ini adalah TPS yang bekerja dengan alur pengumpulan tidak langsung, yaitu TPS mengumpulkan dan memisahkan sampah dari gerobak lalu sampah residunya diangkut menuju TPA. Di kota Bandung terdapat 160 unit TPS Ritasi.

b. TPS Rental

Sebenarnya bukanlah TPS, namun merupakan sistem pengumpulan sampah langsung dari sumber dengan merental truk dari pihak swasta untuk diangkut ke TPA. Di kota Bandung terdapat 6 unit TPS Rental.

c. TPS Pembuangan Langsung

Merupakan TPS yang menggunakan sistem door to door. TPS ini dimiliki oleh pihak/instansi yang telah dapat mengelola pengumpulan sampahnya secara mandiri. Di kota Bandung terdapat 1 unit TPS Pembuangan Langsung.

d. TPS Rute

Bukanlah TPS, namun hanya berupa titik pengumpulan yang telah ditentukan, sehingga dari gerobak pengumpul sampah, langsung dipindahkan ke truk pengangkut menuju TPA. Di kota Bandung terdapat 160 unit TPS Ritasi. Di kota Bandung terdapat 77 unit TPS Rute.

Sedangkan berdasarkan konstruksinya atau kelengkapan bangunannya, TPS di kota Bandung terbagi atas 5 jenis TPS, yaitu :

a. TPS Tipe A

TPS dengan kelengkapan konstruksi hanya berupa kontainer pengumpul sampah.

b. TPS Tipe B

TPS dengan kelengkapan konstruksi berupa landasan. Landasan merupakan spot ruang yang diberi alas atau landasan berupa cor semen.

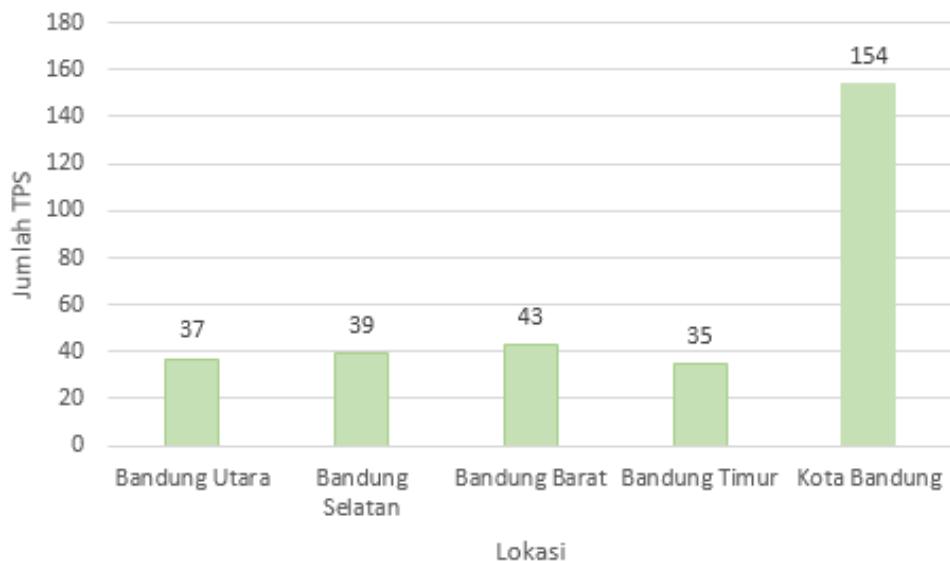
c. TPS Tipe C

TPS dengan kelengkapan konstruksi berupa kontainer dengan landasan

d. TPS Tipe D

TPS dengan kelengkapan konstruksi berupa kontainer berlandasan dengan dilengkapi atap yang menaungi area TPS sehingga terhindar dari paparan air hujan.

Jumlah TPS seluruh Bandung sebesar 154 unit dan hampir tersebar merata di setiap wilayah pelayanan, dengan jumlah TPS terbanyak sebesar 43 TPS di Kabupaten Bandung Barat. Data TPS yang ada di Kota Bandung per wilayah pelayanan dapat dilihat pada Gambar di bawah.



Gambar 2. 4 Jumlah TPS per wilayah pelayanan di Kota Bandung

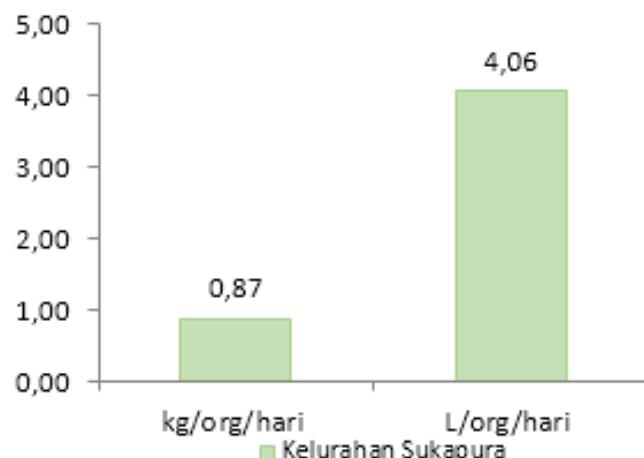
Sementara untuk penetapan target antara sistem pengurangan dan penanganan sampah biasanya tergambar melalui neraca massa sampah. Gambaran neraca massa baik eksisting maupun target pengelolaan sampah di Kota Bandung dapat dilihat pada Gambar di bawah ini. Sistem pengurangan sampah dilakukan dengan menekankan pada sistem pemilahan sampah di sumber, sehingga secara umum mengintegrasikan sistem pengelolaan sampah dengan komposisi sampah baik organik, anorganik maupun residu. Khusus untuk sistem pengurangan sampah khusunya sampah organik dilakukan dengan menggunakan TPST, POO (Pusat Olah Organik), dan SPA (Stasiun Peralihan Antara). Sementara untuk pengelolaan sampah anorganik juga dilakukan di TPST dan SPA. Penerapan sistem pengurangan sampah tersebut dapat disimpulkan terkait dengan berbagai upaya pengurangan sampah yang akan diangkut dan atau diproses di TPA. Sistem penanganan sampah dengan sistem pengurangan sampah masih tercampur tidak spesifik terpisah seperti dalam Jakstranas.



Sistem pengumpulan yang dilakukan di Kelurahan Sukapura ialah sistem pengumpulan dengan pola individual tidak langsung, yaitu sampah yang dihasilkan di sumber dikumpulkan dalam suatu wadah yang berada di masing- masing rumah yang selanjutnya akan diangkut oleh petugas kebersihan tiap RW menggunakan alat kumpul berupa gerobak sampah atau motor sampah menuju TPS. Masing-masing RW melakukan pengumpulan 2 – 3 kali dalam seminggu yang selanjutnya dibawa menuju TPS. Di Kelurahan Sukapura terdapat 2 (dua) TPS yaitu TPS Sukapura dan TPS Cidurian. TPS Sukapura melayani sampah dari RW 1 sampai RW 7 dan RW 11 sampai RW 15, sedangkan RW lainnya yaitu RW 8, RW 9 dan RW 10 dilayani oleh TPS Cidurian.

TPS Sukapura memiliki luas lahan sebesar 495 m², sampah yang masuk ke TPS ditampung dalam kontainer kapasitas 10 m³, pengangkutan di TPS Sukapura dilakukan setiap hari dengan 3-4 rit/hari dan pengumpulan dilakukan 2-3 hari sekali untuk tiap RW.

Timbulan sampah Kelurahan Sukapura adalah 0,87 kg/org/hari atau 4,06 L/org/hari dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. 7 Satuan Timbulan Sampah Kelurahan Sukapura

Berdasarkan data satuan timbulan sampah dapat diketahui densitas sampah Kelurahan Sukapura, yaitu sebesar 214,29 kg/m³. Besarnya densitas sampah tersebut dapat dipengaruhi oleh berat dan volume sampah. Berat dan volume sampah tersebut dipengaruhi oleh jenis sampah yang paling dominan yaitu sampah organik.

¹ **DISCLAIMER:** Data yang disajikan merupakan hasil penelitian tugas akhir dari:
Djuliarti Y, (2019). Evaluasi program kawasan bebas sampah kota Bandung, Laporan Tugas Akhir, Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung.
Syifara, WA (2020). Perencanaan sistem pengurangan sampah di Kelurahan Sukapura, Laporan Tugas Akhir, Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung.



Satuan timbulan sampah di Kelurahan Kebon Pisang dan Babakan Ciamis dihitung dengan mengkalikan q (satuan tim Kebon Pisang bulan sampah) per tingkat ekonomi dari hasil pengukuran timbulan sampah di Kelurahan Kebon Pisang dan Babakan Ciamis dengan persentase proporsi (%) tingkat ekonomi, sehingga didapatkan satuan timbulan sampah untuk Kelurahan Kebon Pisang dan Babakan Ciamis. Perbandingan untuk satuan timbulan sampah berdasarkan tingkat ekonomi di Kelurahan Kebon Pisang dan Babakan Ciamis dapat dilihat pada tabel berikut:

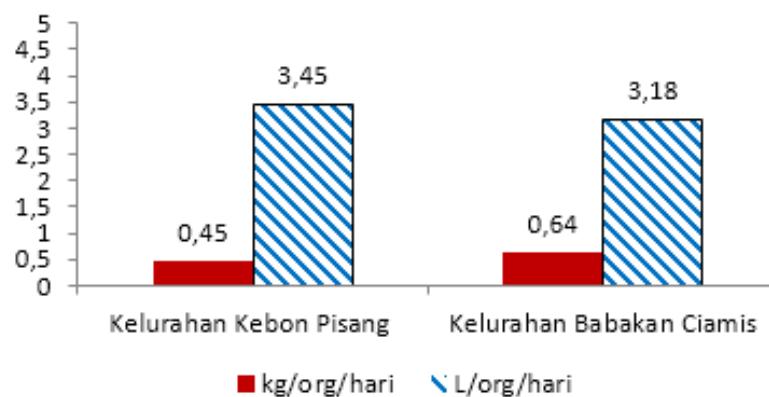
Tabel 2. 3 Satuan Timbulan Sampah Kelurahan Kebon Pisang

Tingkat Ekonomi				Densitas (kg/m3)	qdr		Densitas (kg/m3)
	Proporsi	q (kg/org/hari)	q (l/org/hari)		q (kg/org/hari)	q (l/org/hari)	
HI	78%	0.343	3.623	94.58	0.45	3.45	131.76
MI	12%	0.810	2.850	284.11			
LI	10%	0.902	2.827	319.23			

Tabel 2. 4 Satuan Timbulan Sampah Kelurahan Babakan Ciamis

Tingkat Ekonomi				Densitas (kg/m3)	qdr		Densitas (kg/m3)
	Proporsi	q (kg/org/hari)	q (l/org/hari)		q (kg/org/hari)	q (l/org/hari)	
HI	44%	0.343	3.623	94.58	0.65	3.18	205.28
MI	17%	0.810	2.850	284.110			
LI	39%	0.902	2.827	319.228			

Satuan timbulan sampah berdasarkan satuan berat di Kelurahan Babakan Ciamis lebih tinggi dibandingkan dengan Kelurahan Kebon Pisang.



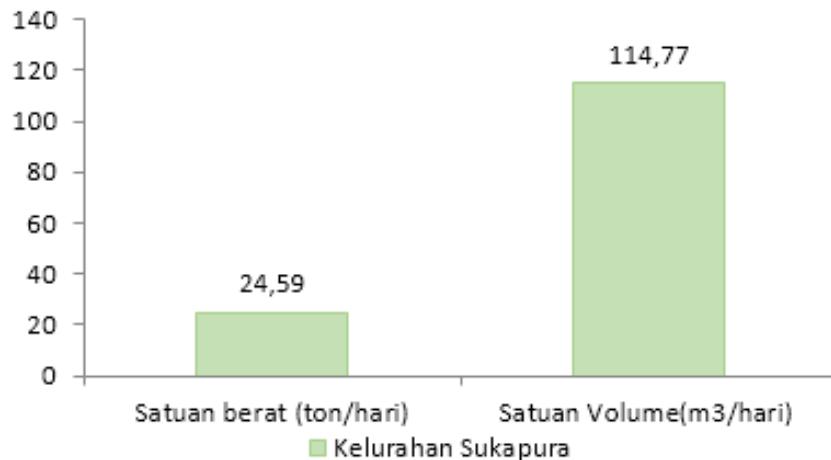
Gambar 2. 8 Perbandingan Satuan Timbulan Sampah antara Kelurahan Kebon Pisang dan Kelurahan Babakan Ciamis (Sumber: Djulianti Y, 2019)



Berdasarkan gambar 2.8 dapat dilihat perbedaan satuan timbulan sampah yang dihasilkan antara Kelurahan Kebon Pisang dan Kelurahan Babakan Ciamis terdapat perbedaan, Hal ini dikarenakan dapat disebabkan oleh faktor sosial ekonomi, aktivitas di luar rumah ataupun di dalam rumah, gaya hidup, cara penanganan sampah, dan sebagainya akan mempengaruhi timbulan sampah. Kondisi ini juga diperkuat berdasarkan Novriyanti, 2008 yang menyatakan bahwa *high income* kebanyakan adalah pekerja di luar rumah dan hanya hari-hari tertentu yang menyebabkan timbulan tinggi seperti pada hari Sabtu atau Minggu merupakan hari libur dan kegiatan banyak dilakukan di rumah, untuk *middle income* dipengaruhi karena keragaman pekerjaan sehingga mempengaruhi kondisi timbulan sampah yang dihasilkan salah satunya cara menangani sampah dan gaya hidup. Begitu juga dengan kondisi *low income* yang jauh berbeda dengan *high income* dan *middle income* dari segi sosial ekonomi, gaya hidup dan cara penanganan sampah.

2.2.5.2. Total Timbulan Sampah

Total timbulan sampah (Q) merupakan jumlah timbulan sampah total yang dihasilkan di suatu wilayah, baik dalam satuan berat (kg/hari) maupun dalam satuan volume (L/hari). Total timbulan sampah tersebut akan menentukan sampah yang akan dikelola di suatu wilayah. Data total timbulan sampah sangat dipengaruhi oleh besarnya satuan timbulan sampah (q) serta banyaknya jumlah penduduk di suatu wilayah. Jumlah penduduk Kelurahan Sukapura yaitu 28.296 jiwa, dan total timbulan sampah Kelurahan Sukapura dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. 9 Total Timbulan Sampah Kelurahan Sukapura

Total timbulan sampah (Q) Kelurahan Sukapura, baik dalam satuan berat (kg/hari) maupun dalam satuan volume (L/hari) memiliki total timbulan yang cukup besar, yaitu 24,6 ton/hari dan 114,78 m³/hari. Banyaknya sampah yang dihasilkan dari sebuah kegiatan akan memenentukan banyaknya sampah yang harus dikelola oleh sebuah wilayah. Total timbulan sampah memiliki satuan berat (kg/hari) atau volume (liter/hari). Besar total timbulan sampah tergantung pada besarnya jumlah penduduk dan besarnya satuan timbulan sampah (q).



Wilayah Kelurahan Kebon Pisang memiliki jumlah penduduk 11.033 jiwa, dengan satuan timbulan sampah kelurahan, yaitu 0,45 kg/orang/hari atau 3,45 liter/orang/hari maka diperoleh total timbulan sampah (Q) kelurahan yaitu 4.965 kg/hari atau 38.064 liter/hari ($38,06 \text{ m}^3/\text{hari}$).

Wilayah non Kawasan Bebas Sampah Kelurahan Babakan Ciamis, dengan jumlah penduduk 8.639 jiwa, dan memiliki satuan timbulan sampah yaitu 0,64 kg/orang/hari atau 3,18 liter/orang/hari maka akan didapatkan data total timbulan sampah (Q) yaitu 5.529 kg/hari atau 27.472 liter/hari ($27,47 \text{ m}^3$). Besarnya total timbulan sampah dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

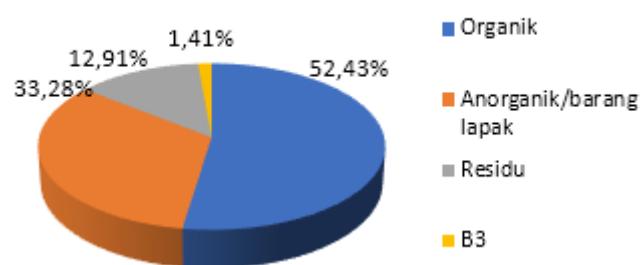


Gambar 2. 10 Perbandingan Total Timbulan Sampah antara Kelurahan Kebon Pisang dan Kelurahan Babakan Ciamis (Djulianti Y, 2019)

2.2.5.3. Komposisi Sampah

Komposisi sampah merupakan gambaran proporsi dari komponen-komponen yang terdapat dalam sampah. Komposisi dapat dikategorikan berdasarkan sumber maupun karakteristik sampah yang biasanya dinyatakan dalam persen berat (%). Perbedaan komposisi sampah ditentukan oleh sumber penghasilnya, sedangkan perbedaan karakteristik sampah ditentukan oleh perilaku konsumsi dan pengelolaan terhadap sampah.

Komposisi sampah di Kelurahan Sukapura terdiri atas sampah organik, sampah anorganik, sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3), serta residu/sampah lainnya. Berdasarkan hasil sampling yang mengacu kepada SNI 19-3964-1994, komposisi sampah Kelurahan Sukapura dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. 11 Komposisi Sampah Kelurahan Sukapura



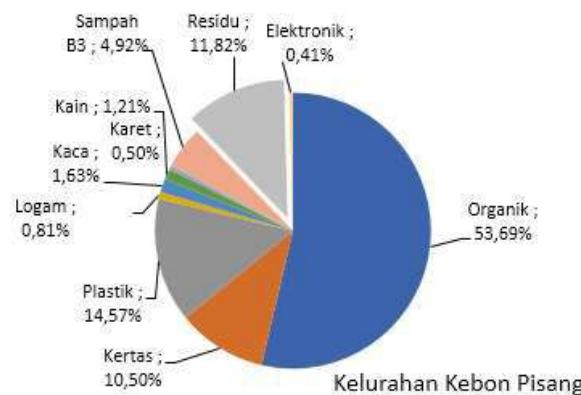
Komposisi sampah merupakan penggambaran dari masing – masing komponen yang terdapat pada sampah dan distribusinya. Pengelompokan sampah yang juga sering dilakukan yaitu berdasarkan komposisinya. Komposisi sampah dinyatakan sebagai persentase (%) berat (biasanya berat basah) atau persentase (%) volume (basah) dari kertas, kayu, kulit, karet, plastik, logam, kaca, kain, makanan dan lain lain (Damanhuri dan Tri Padmi, 2016). Tabel komposisi sampah di Kelurahan Kebon Pisang dan Kelurahan Babakan Ciamis dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. 5 Komposisi Sampah Kelurahan Kebon Pisang dan Kelurahan Babakan Ciamis

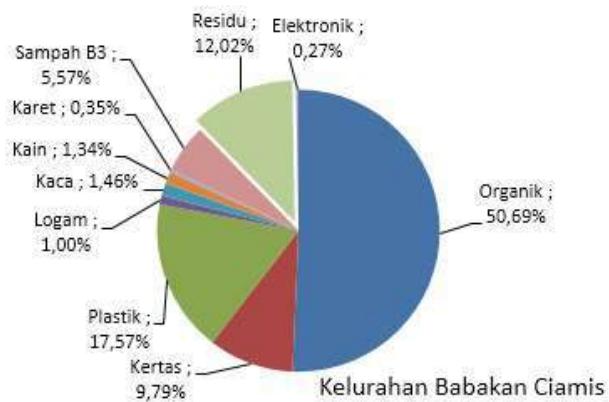
No	Jenis Sampah	Komposisi sampah (%) di Kelurahan	
		Kebon Pisang	Babakan Ciamis
1	Organik	53.69%	50.69%
2	Kertas	10.50%	9.79%
3	Plastik	14.57%	17.57%
4	Logam	0.81%	1.00%
5	Kaca	1.63%	1.46%
6	Kain	1.21%	1.34%
7	Karet	0.50%	0.35%
8	Sampah B3	4.92%	5.57%
9	Residu	11.82%	12.02%
10	Elektronik	0.41%	0.27%

Sumber: Djulianti Y, 2019

Berdasarkan data pada tabel diatas, jenis sampah organik memiliki persentase paling tinggi pada kedua Kelurahan, yaitu 53,69 % pada Kelurahan Kebon Pisang dan 50,69% pada Kelurahan Babakan Ciamis. Komposisi terendah pada kedua kelurahan tersebut adalah jenis sampah elektronik, 0,41% di Kelurahan Kebon Pisang dan 0,27% di Kelurahan Babakan Ciamis. Komposisi sampah (%) secara berturut-turut dari paling tinggi hingga paling rendah adalah dari jenis sampah organik, plastik, residu, kertas, sampah B3, kaca, kain, logam, karet, elektronik. Komposisi sampah pada Kelurahan Kebon Pisang dan Kelurahan Babakan Ciamis, dapat dilihat pada gambar berikut:

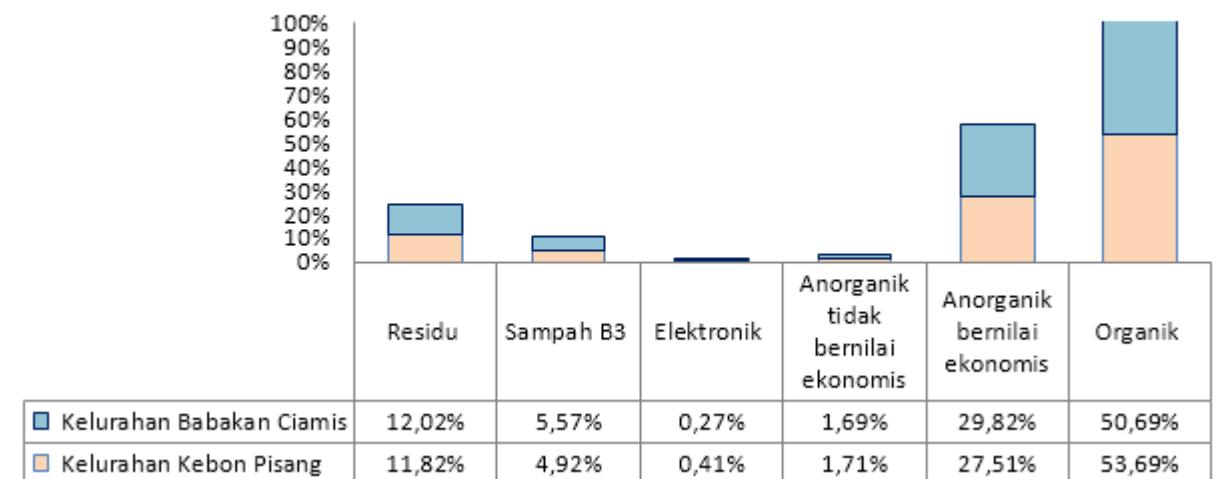


Gambar 2. 12 Diagram Komposisi Sampah di Kelurahan Kebon Pisang



Gambar 2. 13 Diagram Komposisi Sampah di Kelurahan Babakan Ciamis

Berdasarkan 10 (sepuluh) jenis sampah di Kelurahan Kebon Pisang dan Kelurahan Babakan Ciamis, selanjutnya diklasifikasikan menjadi 6 (enam) jenis sampah yaitu terdiri atas organik, anorganik bernilai ekonomi, anorganik tidak bernilai ekonomi, sampah elektronik, sampah mengandung bahanberbahaya dan beracun dan sampah residu. Berikut hasil perbandingan persentase (%) komposisi terhadap 6 (enam) klasifikasi jenis sampah di 2 (dua) kelurahan dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. 14 Persentase Komposisi Sampah dengan 6 (enam) Jenis Sampah (Djulianti Y, 2019)

2.2.6. Karakteristik Sampah di Kota Bandung

Berdasarkan Peraturan daerah Kota Bandung Nomor 9 Tahun 2018 Tentang Pengelolaan sampah, maka sampah dapat dikategorikan menurut karakteristiknya yaitu:

- 1) Sampah spesifik adalah sampah yang karena sifat, konsentrasi, dan atau volumenya memerlukan pengelolaan khusus. Sampah spesifik meliputi sampah yang mengandung B3, sampah yang timbul akibat bencana puing bongkatan bangunan, sampah yang secara teknologi belum dapat diolah dan atau sampah yang timbul secara periodik.



2) Sampah yang mudah terurai yang selanjutnya disebut sampah organik, adalah sampah yang berasal dari tumbuhan, hewan, dan/atau bagian-bagiannya yang dapat terurai oleh makhluk hidup lainnya dan/atau mikroorganisme, misalnya sampah makanan dan serasah.

Menurut Damanhuri (2010), karakteristik sampah dapat dikelompokkan menurut sifat-sifat seperti berikut:

- 1) Karakteristik fisik yaitu: densitas, kadar air, kadar volatil, kadar abu, nilai kalor, distribusi ukuran
- 2) Karakteristik kimia khususnya yang menggambarkan susunan kimia sampah tersebut seperti C, N, O, P, H, S dan sebagainya.

Tabel 2. 6 Karakteristik Sampah Kota Bandung Tahun 1988

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Kadar Air	% (berat basah)	64,27
2	pH	-	6,27
3	Materi organik	% (berat basah)	44,70
4	Karbon	% (berat kering)	44,70
5	Nitrogen	% (berat kering)	1,56
6	Fosfor	% (berat kering)	0,241
7	Kadar Abu	% (berat kering)	23,09
8	Nilai kalor	kkcal/kg	1.197

Tabel 2. 7 Karakteristik Sampah Di Sebuah TPS Kota Bandung Tahun 2007

No	Komponen	Kadar Air (% berat basah)	Kadar Volatil (% berat kering)	Kadar Abu (% berat kering)
1	Sisa makanan	88,33	88,09	11,91
2	Kertas-tissu	5,03	99,69	0,31
3	Daun	35,62	96,92	3,08
4	Botol kaca	1,30	0,52	99,48
5	Botol/cup plastik	2,57	88,48	11,52
6	Karton	6,57	94,45	5,55
7	Kertas putih	50,65	80,00	20
8	Tekstil	3,41	86,32	13,68
9	Plastik macam-macam	68,45	98,21	1,79

Sumber : DLH Kota Bandung, 2019.



2.2.7. Nilai Kalor Sampah

Nilai kalor adalah banyaknya panas yang dapat dilepaskan oleh setiap kilogram bahan/material jika dibakar sempurna.

Tabel 2. 8 Perbandingan Nilai Kalor Komponen Sampah

No	Sampel	Nilai Kalor (kcal/kg)					
		Bom Kalorimeter	LHV	Proximate Analysis		Dulong	
				1	2	3*	3**
Kertas							
1	HVS	3024,24	2884,84	4234,29	1143,01		3591,18
2	Karton	3602,18	3359,17	4118,58	1154,28	6648,26	
3	Koran	3845,53	3618,95	4238,47	1306,64	4205,97	
4	Majalah	2598,95	2476,51	3646,23	992,02	2712,36	
5	Kertas Nasi	4246,92	3920,67	4167,29	1288,89		3591,18
6	Kardus	4487,07	4093,09	4257,12	1284,39	3571,67	
Plastik							
7	PET Bottle (no.1)	5450,85	5252,42	4445,83	1382,24	11680,56	
8	HDPE Lembaran (no.2)	11207,00	11169,58	4444,73	1386,33		6307,50
9	PVC lembaran (no.3)	5187,91	5138,23	4332,82	1360,11	5448,78	
10	LDPE (no.4)	12318,40	12195,08	4505,66	1356,34		6307,50
11	PP Cup (no.5)	11912,80	11903,06	4426,95	1380,54		6307,50
12	PS (no.6)	11285,50	11269,80	4273,86	1379,38	9645,22	
Sampah Makanan&Pasar							
13	Makanan tercampur	5162,21	1437,86	3727,54	737,10	4466,11	
14	Daun Pembungkus	4638,37	975,59	4069,59	573,85		4154,72
15	Batok&gambut kelapa	4684,11	3407,90	4446,86	1291,42		3915,63
16	Sayur	4568,29	689,85	4205,94	248,60		4466,11
17	Ikan	5837,12	1567,48	3497,23	581,39		4466,11
18	Lemak	9891,62	5065,61	4442,10	1213,95	9155,28	
19	Daging	7154,78	2597,33	4359,15	1034,45		
20	Tulang	4464,42	1570,90	3169,97	638,29		6951,46
21	Buah	5064,86	392,54	4337,90	-828,00	4347,01	
Sampah Kebun							
22	Daun	3998,02	1632,60	3644,07	958,76		4154,72



23	Rumput	4153,51	906,08	7365,52	567,68		4154,72
24	Cabang pohon/ranting	4715,66	1997,45	4211,09	1096,14		3915,63
Tekstil & Karet							
25	Handuk	4435,10	4239,45	4301,44	1348,27		4357,78
26	Jeans	4271,05	4010,65	4393,74	1372,21		4357,78
27	Kaos	4836,68	4664,32	4413,66	1365,93		4357,78
28	Karet	5202,15	5106,45	4218,60	939,96	8598,61	
Kompos							
29	Mentah	2125,75	675,26	2402,29	420,93		4137,50
30	1/2 Matang	2091,90	979,05	2291,37	484,83		4137,50
31	Matang	1669,73	936,04	1854,94	415,31		4137,50
32	Residu	2211,65	980,02	3007,37	680,21		4137,50

LHV = Low heating Value

* data Tchobanoglous,

** asumsi dari data Tchobanoglous

Sumber: DM. Novita dan E.Damanhuri, 2010

2.3. TEKNOLOGI PENGOLAH SAMPAH MEJADI ENERGI YANG TEPAT

Menentukan teknologi WtE tidak dapat disama ratakan untuk seluruh wilayah Indonesia karena, tidak semua TPA memiliki lahan yang cukup luas, atau dana dan dukungan teknis yang dibutuhkan untuk menerapkan teknologi WtE. Sangatlah penting bagi pemerintah daerah untuk melakukan penilaian independen yang menyeluruh terhadap teknologi WtE yang ditawarkan dari sisi infrastruktur pengelolaan persampahan yang ada atau yang direncanakan, agar menghasilkan studi kelayakan terperinci yang mampu mengidentifikasi pilihan pengolahan sampah yang paling tepat, sebagai bagian dari perencanaan yang diperlukan untuk semua elemen dari hierarki pengolahan sampah.

Di bawah ini dijelaskan beberapa faktor utama yang perlu menjadi pertimbangan dan evaluasi dalam menilai teknologi WtE:

1. Berapa lama masa operasional pembangkit direncanakan?
2. Apakah (kualitas, kuantitas dan kontinuitas) bahan baku terjamin untuk keberlangsungan operasional pembangkit?
3. Teknologi apa yang paling tepat diterapkan dengan bahan baku yang tersedia?
4. Apakah teknologi tersebut telah terbukti dan apakah telah dioperasikan komersial ditempat lain di Indonesia dan/atau negara lain?
5. Apakah lokasi tersebut memiliki kondisi yang sama dengan lokasi yang ada di Indonesia (jenis sampah/volume, kemampuan operasi/kapasitas dll)?
6. Produk/residu apa yang akan timbul dari proses WtE?



7. Apakah Anda memiliki kemampuan/kapasitas untuk mengelola produk/residu?
8. Dapatkah teknologi tersebut memenuhi semua standar kinerja yang Anda butuhkan, termasuk undang-undang dan peraturan daerah/nasional?
9. Jika terjadi perubahan bahan baku (kuantitas/komposisi, dan lain-lain), apakah teknologi WtE dapat menyesuaikan dengan perubahan ini?
10. Apakah penyedia teknologi yang Anda ajak bicara tersebut memiliki kredibilitas dalam hal teknis dan keuangan?
11. Apakah penyedia teknologi juga terlibat dalam pengoperasian pembangkit?
12. Jika pihak penyedia tidak terlibat dalam pengoperasian pembangkit, siapa yang akan mengoperasikan pembangkit, catatan teknis dan keuangan apa yang mereka miliki untuk menunjukkan kemampuan mereka dalam pekerjaannya?
13. Jika pengelolaan dan pengoperasian pembangkit ditangani oleh pemerintah daerah, apakah pemerintah daerah tersebut memiliki staf dengan keahlian teknis yang memadai untuk mengoperasikan pembangkit dan, jika tidak, apakah ada pilihan untuk pelatihan?
14. Apakah penyedia teknologi telah menjelaskan tentang anggaran operasional dan pemeliharaan yang diperlukan dan apakah anggaran tersebut mampu dipenuhi oleh pemerintah daerah?
15. Apakah ada perjanjian layanan dan pemasok lokal untuk suku cadang?

2.3.1. Konsep BATMAN

Konsep ‘BATMAN’, secara sederhana, merupakan adaptasi dari prinsip penilaian BATNEEC atau (*Best Available Technology Not Entailing Excessive Cost*/Teknologi terbaik yang tersedia yang tidak memakan biaya yang berlebihan) yang memfokuskan pada pilihan teknologi yang sesuai dengan kebutuhan sebenarnya. Sangatlah mudah untuk terlena dengan ide tentang solusi WtE berteknologi tinggi namun secara komersial kurang terbukti (hanya terbukti pada skala percontohan, dll), ataupun dapat dibuktikan secara komersial, namun tidak cocok untuk mengatasi masalah teknis, ekonomi dan karakteristik sampah di Indonesia. Solusi yang paling tepat tidak hanya berupa teknologi yang paling kompleks atau yang terbaru, tetapi harus mampu memenuhi kebutuhan yang sebenarnya:



Untuk kedua teknologi tersebut, sampah diubah menjadi panas, yang digunakan untuk memanaskan air dalam boiler untuk menghasilkan uap. Uap dapat didistribusikan untuk dijual (biasanya kepada manufaktur industri/kimia) atau dapat dikonversi menjadi listrik melalui turbin uap. Sering terdapat perbedaan antara efisiensi yang dinyatakan oleh produsen/pemasok dan efisiensi yang terverifikasi secara independen, tetapi di Inggris efisiensi berada di kisaran 18%-27% (saat menghasilkan listrik) untuk pembangkit dengan ukuran 25.000 sampai dengan 600.000 ton per tahun. Kedua teknologi tersebut juga memproduksi residu sampah berupa abu, abu boiler, abu terbang, dan residu *scrubber* dari operasi pembersihan cerobong gas. Insinerasi dengan alas bergerak/*conveyer belt* adalah teknologi yang sudah terbukti keandalannya untuk pembakaran sampah sehingga teknologi ini lebih tepat untuk diterapkan di Indonesia. Teknologi ini sendiri cukup sederhana, dengan permasalahan utama terletak pada pengoptimalan panas dan pemulihan energi serta minimalisasi emisi hasil insinerasi.

Sampah yang belum dipilah dapat langsung dimasukkan ke pembakaran sampah tanpa perlu dipilah terlebih dahulu. Meskipun kadar air yang tinggi dalam sampah Indonesia akan mengurangi efisiensi termal (dibandingkan dengan apa yang dicapai di Eropa), proses insinerasi tidak membutuhkan pemilahan sampah, seperti yang dibutuhkan oleh pilihan lain yang dibahas di bawah ini. Pengoperasian insinerator harus dijaga dalam suhu operasi kritis. Apabila suhu lebih rendah, senyawa beracun organik volatil (VOC) yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan tidak terurai sempurna, serta emisi gas pembangkit akan melanggar aturan standar keamanan nasional. Untuk mencapai dan mempertahankan suhu operasi minimum yang aman, di saat volume aliran sampah mungkin rendah dan/atau memiliki kadar air yang tinggi, bahan bakar tambahan (biasanya minyak) mungkin diperlukan.

Hal ini dapat menyebabkan metode pengolahan sampah yang seharusnya murah menjadi sangat mahal, dengan demikian harus dipertimbangkan dengan hati-hati selama perencanaan proyek. Bahkan, bagi insinerator yang berjalan dengan baik, gas buang insinerator masih membutuhkan perawatan dengan sistem pendinginan gas dan *scrubber* untuk menghilangkan dioksin karsinogenik berbahaya. Sistem pengolahan gas buang ini memakan biaya yang cukup mahal dan membutuhkan pengoperasian dan pemeliharaan yang hati-hati. Keduanya perlu dipertimbangkan ketika merencanakan sebuah proyek di Indonesia.

2.3.2.2. Gasaifikasi

Meskipun ada banyak bentuk teknologi WtE berbasis gasifikasi, sampah biasanya memerlukan beberapa bentuk pra-pengolahan untuk menghasilkan bahan baku yang konsisten (bentuk dan ukuran), yang biasanya menggunakan pemisahan bahan kaca, logam dan puing-puing. Bahan baku tersebut kemudian dikonversi dalam proses oksidasi parsial (yaitu dengan adanya keterbatasan oksigen/udara), dengan suhu konversi $900^{\circ}\text{-}1.100^{\circ}$ Celcius dengan kadar udara dan $1.000^{\circ}\text{-}1.400^{\circ}$ Celcius dengan kadar oksigen.



Proses konversi ini relatif efisien, dengan ~ 80% dari energi kimia dalam sampah (karbon dan hidrogen) diubah menjadi energi kimia dalam bentuk gas. Gas ini disebut sebagai *syngas* (gas sintesis) dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti menyediakan energi untuk boiler uap atau mesin gas dan konversi berikutnya berupa panas dan/atau energi. Karena udara yang lebih umum digunakan dalam proses konversi (jauh lebih murah daripada menggunakan oksigen), maka proses konversi menghasilkan energi gas sintesis yang lebih rendah daripada yang dihasilkan menggunakan gasifikasi oksigen - nilai kalor bersih (NCV) dari *syngas* menjadi 4-6 MJ/Nm³ untuk gasifikasi udara dan 10-18 MJ/Nm³ untuk gasifikasi oksigen (sebagai perbandingan, gas alam memiliki nilai NCV 38 MJ/Nm³).

Gasifikasi adalah teknologi WtE yang tersedia secara komersial. Fasilitas pengolahan sampah dengan teknologi gasifikasi terdapat di seluruh dunia tetapi sebagian besar ditemukan di Jepang tempat teknologi ini dikembangkan dan pemasok terkemuka berasal. Tidak ada pembangkit sejenis ini yang beroperasi di Indonesia hingga saat ini. Pembangkit ini menggunakan teknologi gasifikasi *slagging* dan pada 2013, WSP memperkirakan ada 122 pabrik pengolahan sampah/ RDF yang beroperasi di Jepang yang memproses 6.915.870 ton per tahun, dan sembilan pabrik pengolahan sampah lainnya dilaporkan sedang dalam proses konstruksi dengan proyeksi kapasitas gabungan mencapai 1.047.300 ton per tahun. International Solid Waste Association (ISWA) (Ref 7) mengatakan bahwa teknologi seperti gasifikasi dapat menjadi bisnis komersial di Jepang karena efisiensi energi biasanya bukan penggerak utama dalam pemilihan teknologi WtE di sana (prioritas utama adalah keterbatasan lahan penampungan sampah), dan biaya pengolahannya lebih tinggi daripada di tempat lain. Ini adalah contoh dari faktor kebutuhan yang harus dipertimbangkan dalam menilai data-data yang diberikan oleh produsen dan penerapannya di Indonesia. Di Inggris, terdapat fasilitas pengolahan sampah dengan kapasitas biasanya berkisar antara 30.000 sampai dengan 60.000 ton per tahun (walaupun fasilitas dengan kapasitas 250.000 ton per tahun sedang dalam rencana pembangunan), lebih rendah dari nilai normal untuk instalasi insinerasi. Gasifikasi plasma adalah teknologi baru untuk pengolahan sampah tetapi pada skala komersial dengan instalasi percontohan berkapasitas <10.000 ton per tahun. Gasifikasi plasma belum tersedia di Indonesia dan tidak dapat dipertimbangkan sebagai opsi sampai instalasi pengolahan sampah semacam ini terbukti berhasil beroperasi pada skala komersial di negara-negara lain.

2.3.2.3. Pirolisis

Pirolisis menggunakan degradasi termal sampah dengan kondisi tanpa oksigen. Seperti gasifikasi, pengolahan sampah berteknologi pirolisis mungkin membutuhkan beberapa bentuk pra-pengolahan untuk menghasilkan bahan baku yang konsisten (pemisahan materi kaca, logam, puing-puing dll), namun gasifikasi pengolahan sampah komersial berskala global saat ini masih terbatas. Instalasi pirolisis memerlukan sumber panas eksternal dan suhu pembakaran yang



berdiri sendiri, melainkan berupa metode persiapan sampah, yang bertujuan untuk mengoptimalkan pemulihan WtE. Pabrik produksi RDF cenderung dibangun di dekat sumber sampah dengan volume tinggi dan dapat dihubungkan dengan pengolahan WtE yang berdekatan atau dapat langsung diangkut untuk dijual ke pabrik pembakaran lokal/regional atau bahkan internasional, termasuk pabrik pengolahan WtE, pabrik semen dan pembangkit listrik tenaga batubara.

Pemrosesan sampah untuk menghasilkan RDF memberikan kualitas produk yang konsisten yang membantu memastikan bahwa instalasi pembakaran beroperasi dengan produk yang akurat dan nilai kalor yang dapat diprediksi. Namun, semua penyortiran/pengolahan sampah memiliki biaya tersendiri. Beberapa studi telah menunjukkan bahwa pembakaran RDF tidak memiliki keuntungan secara ekonomis dibandingkan dengan pembakaran massa, karena biaya produksi RDF melebihi keuntungan yang didapat dari pembakaran sampah dengan kualitas dan kuantitas yang konsisten. Pasar untuk RDF di Indonesia biasanya terfokus pada industri semen.

2.4. PERALATAN PENDUKUNG ENERGI THERMAL

Pada siklus pembangkit listrik untuk *incenerator* ini diperlukan komponen-komponen pendukung agar sistem dapat bekerja dengan baik. Komponen-komponen tersebut antara lain:

1. Turbin
2. Generator
3. Sistem elektrikal

2.4.1. Turbin

Turbin uap merupakan komponen untuk mengkonversi energi termal dari uap menjadi energi mekanik. Turbin uap mengekspansikan uap melalui sudu-suđu yang ada pada turbin sehingga akan menggerakkan rotor turbin. Rotor turbin dikopel dengan generator sehingga generator akan berputar dan menghasilkan listrik.

Turbin digolongkan menjadi 2 jenis yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Turbin impuls terdiri dari *stationary nozzle* dan rotor yang terdiri dari sudu-suđu. Uap diekspansikan melalui *nozzle* sehingga kecepatannya bertambah dan tekanannya berkurang. Uap kemudian menabrak suđu sehingga suđu berputar. Akibat putaran suđu tersebut, kecepatan uap akan menurun. Turbin reaksi terdiri dari suđu gerak dan suđu tetap. Uap diekspansikan melalui suđu tetap sehingga akan terjadi peningkatan kecepatan. Proses ekspansi terus terjadi hingga uap keluar dari suđu gerak. Turbin reaksi diklasifikasi kan sebagai persen reaksi oleh jumlah energi yang dikonversikan pada suđu gerak.

Eksansi dari uap yang melewati turbin memiliki energi enthalpi dan tekanan yang dikonversikan menjadi energi kinetik. Energi yang diekstaksi dari uap dapat ditentukan untuk setiap turbin dengan mengurangi enthalpi uap keluar turbin dengan enthalpi uap masuk turbin.



A. Pressure-reheat turbine

Penunjukkan turbin dengan tekanan mungkin juga melibatkan pengaturan siklus untuk pemanasan ulang. Untuk unit kecil tanpa pemanasan ulang, turbin uap dapat terdiri dari *single turbine* dimana uap masuk ke turbin, kemudian diekspansi, dan keluar dari turbin ke kondensor seperti pada gambar 2.18 (a dan b). Untuk unit skala besar tanpa pemanasan ulang, uap diekspansikan pada bagian awal turbin pada tekanan tinggi kemudian keluar ke turbin selanjutnya pada tekanan rendah. Keluaran dari turbin terakhir dihubungkan dengan kondensor. Jenis turbin ini seperti pada gambar 2.18 (c). Untuk proses dengan pemanasan ulang, uap dari boiler mengalir ke turbin tekanan tinggi dan diekspansikan. Uap yang keluar dari turbin kemudian dimasukkan kembali ke dalam boiler dan kemudian memasuki turbin tekanan menengah. Uap yang telah diekspansikan kemudian dialirkan ke turbin tekanan rendah dan akhirnya dialirkan ke kondensor (gambar 2.18 (d)). Untuk sistem pemanasan ulang ganda, uap dari boiler masuk ke turbin tekanan tinggi kemudian diekspansikan dan uap keluaran dari turbin dialirkan kembali ke boiler untuk dipanaskan ulang. Uap yang telah dipanaskan tersebut kemudian mengalir ke turbin tekanan menengah dan diekspansikan. Uap yang keluar dari turbin tersebut kemudian dialirkan kembali ke boiler untuk dilakukan pemanasan ulang. Kemudian uap tersebut dialirkan ke turbin tekanan rendah dan diekspansikan. Uap keluaran turbin tekanan rendah kemudian dialirkan ke kondensor (gambar 2.18. (e)).

B. Exhaust condition

Jenis turbin dapat dilihat dari kondisi fluida kerja keluaran dari turbin yaitu *condensing* dan *non condensing*. Keluaran dari *condensing turbine* dialirkan ke kondensor dimana uap dikondensasikan pada tekanan subatmosfir (vakum). Umumnya Turbin tekanan rendah pada pembangkit listrik tenaga uap merupakan *condensing Turbine* (gambar 2.18 (a)). Uap keluaran dari *non condensing turbine* memiliki tekanan diatas atmosfir agar dapat mensupplai uap ke boiler atau turbin lain. Turbin tekanan tinggi dan mengengah dan turbin dengan pemanasan ulang merupakan turbin *non condensing* (gambar 2.18 (b)).

C. Arah aliran

Jenis turbin dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah dari arah aliran uap yang mengalir dari keluaran turbin. *Single Flow Turbine* memiliki satu arah aliran uap masuk dan satu arah aliran uap keluar dari turbin. Turbin tanpa pemanasan ulang, turbin tekanan tinggi dan tekanan menengah dengan pemanasan ulang termasuk dalam *single direction flow*. Turbin dengan aliran ganda memiliki dua jalur uap. Uap masuk ke bagian tengah turbin dan mengalir ke dua arah yang berlawanan seperti pada gambar 2.18 (d) dan (e). Tipe turbin ini disebut juga dengan *opposed flow turbine*. Jumlah aliran uap banyak seperti tiga, empat, enam, dan delapan aliran umumnya digunakan pada turbin tekanan rendah dari pembangkit



dalam poros. Arus eksitasi untuk generator utama diambil dari generator eksitasi, sedangkan arus eksitasi untuk generator eksitasi diambil dari tegangan keluar generator utama setelah disearahkan, pengaturan tegangan keluar generator utama dilakukan dengan mengatur arus eksitasi generator eksitasi dengan alat yang disebut “*automatic voltage regulator*” AVR.

Pada jenis generator ini apabila terjadi hubung singkat diterminal generator, transformator atau sistem distribusinya, tegangan keluar generator akan turun. Hal ini disebabkan saat terjadi hubung singkat jatuh tegangan pada terminal generator akan semakin besar dan akan mengakibatkan arus yang masuk ke sistem eksitasinya akan semakin kecil. Dengan mengecilnya arus eksitasi maka tegangan keluar generator juga akan semakin kecil. Proses ini berlangsung terus sehingga dapat disimpulkan bahwa generator jenis ini akan gagal menyuplai daya pada waktu hubung singkat yang menetap. Generator jenis ini memiliki beberapa kelebihan antara lain dari Sistem eksitasinya sederhana, mudah perawatannya, dan harganya relatif lebih murah.

Sistem eksitasi tanpa sikat dengan generator magnet permanent hampir sama dengan jenis generator dengan Sistem eksitasi tanpa sikat. Perbedaan adalah pada sumber arus eksitasi, untuk generator eksitasinya. Kalau pada jenis eksitasi tanpa sikat, arus eksitasi untuk generator eksitasi diambil dari tegangan keluar generator utama maka pada jenis Sistem eksitasi tanpa sikat dengan generator magnet permanent diambil dari tegangan keluar *generator magnet permanent*.

Jenis generator ini memungkinkan untuk mengadakan selektifitas “*feeder*” yang mengalami gangguan apabila terjadi hubung singkat yang menetap. Hal ini disebabkan PMG akan tetap menyuplai daya ke sistem eksitasi generator utama sehingga penurunan tegangan pada terminal generator utama relative kecil. Pada umumnya jenis generator ini dayanya besar. Jika harganya dibandingkan dengan generator Sistem eksitasi tanpa sikat untuk daya yang sama, generator ini lebih mahal dan perawatanya lebih rumit.

Sistem yang ketiga, Sistem eksitasi dengan “*slip ring*”, adalah suatu Sistem yang tidak menggunakan generator eksitasi. Pada sistem ini arus eksitasi generator utama langsung diambil dari tegangan keluarnya dan dilairkan kebilletan medan generator utama melalui sepasang “*slip ring*”.

Dengan adanya slip ring pada generator ini mengakibatkan perawatanya akan sulit. Disamping itu jenis generator ini sudah jarang digunakan dan sulit mendapatkannya dipasaran, seandainya adapun kapasitasnya sangat kecil.

Jenis generator yang lain adalah generator asinkron atau generator induksi. Pada dasarnya generator induksi ini kontruksinya sama dengan motor induksi dan memerlukan sumber tegangan bolak balik untuk eksitasinya atau memerlukan daya reaktif untuk eksitasinya. Belitan stator dihubungkan dengan sumber tegangan bolak balik, dan rotor yang digunakan umumnya jenis rotor sangkar yang diputar dengan kecepatan melebihi kecepatan sinkronya. Daya aktif yang dihasilkan oleh generator induksi tergantung pada besarnya *slip negative*. Fakor daya mesin induksi ditentukan oleh daya reaktif yang diperlukan dan reaktansi bocornya. Biasanya fakor daya



generator induksi 0,2 sampai 0,3 lebih rendah dibandingkan jika bekerja sebagai motor induksi, dan tidak ada *factor daya* yang tetentu. Oleh sebab itu generator induksi tidak dapat digunakan untuk menyuplai beban-beban induktif yang faktor dayanya rendah.

Energi mekanik dari penggerak yang memutarkan generator tidak seluruhnya diubah menjadi energi listrik. Sebagian energi tersebut berubah menjadi energi panas. Energi panas yang berlebih dapat menurunkan performa dari generator sehingga diperlukan sistem pendinginan untuk generator. Beberapa kemungkinan untuk jenis pendingin generator adalah sebagai berikut:

- a. Pendingin udara tertutup dengan air dingin sebagai “*heat exchanger*”;
- b. Pendingin udara tertutup dengan udara dingin sebagai “*heat exchanger*”; dan
- c. Pendingin udara terbuka.

Dua alternatif pertama mempunyai keuntungan/kelebihan dapat mengurangi debu yang masuk ke generator. Meskipun demikian pemilihan untuk menggunakan sistem pendinginan air untuk generator perlu mempertimbangkan mengingat adanya endapan pada air pendingin tersebut.

2.4.3. Kinerja dan Daya Turbin ke Generator

Dalam memprediksi kinerja dari turbin-generator dapat menggunakan metode dari Spencer, Cotton, dan Cannon (1974) yang dipublikasikan dalam *revision of ASME Paper No. 62-WA-209*. Dalam memprediksi kinerja dari turbin-generator, beberapa parameter berikut dapat menjadi pertimbangan yaitu:

- efisiensi *expansion line*
- *exhaust loss*
- kebocoran uap pada paking dan batang katup
- *mechanical losses*
- *generator losses*

A. Efisiensi Expansion line

Efisiensi *expansion line* digunakan untuk menggambarkan garis ekspansi turbin pada grafik Mollier. Garis ekspansi menggambarkan enthalpi pada setiap tingkatan dalam turbin untuk estimasi kebutuhan pemanasan ulang, daya turbin, dan jumlah aliran ekstraksi untuk pemanasan *feed water*.

B. Exhaust loss

Exhaust loss merupakan kerugian energi kinetik dan peningkatan enthalpi yang berhubungan dengan uap keluar dari turbin tekanan rendah. *Exhaust loss* terdiri dari dua komponen yaitu, *hood loss* dan *leaving loss*. *Hood loss* merupakan penurunan tekanan yang berhubungan dengan *exhaust hood*. *Leaving loss* berhubungan dengan energi kinetik dari uap. Uap yang meninggalkan sudu pada bagian tekanan rendah, mengalir dengan kecepatan tinggi sehingga menghasilkan penurunan tekanan.



C. Kebocoran pada paking dan batang katup

Kebocoran uap dapat terjadi pada katup uap utama, katup uap pemanas ulang, dan paking poros. Paking poros termasuk seal antara uap bertekanan dan tekanan atmosfir. Kebocoran dapat mengurangi jumlah uap yang masuk turbin sehingga daya dari turbin dapat berkurang.

D. Mechanical losses

Kerugian mekanis pada turbin antar lain berasal dari kerugian pada bearing turbin, bearing generator, dan bearing pompa oli. Kerugian mekanis merupakan fungsi dari besarnya daya turbin dan kecepatan poros.

E. Generator losses

Kerugian generator termasuk seluruh kerugian mekanis dan elektris pada generator, kecuali kerugian pada bearing. Kerugian elektris antara lain *resistive heating losses* dan daya eksitasi. Kerugian generator merupakan fungsi dari daya generator, kecepatan poros, dan metode pendinginan generator



BAB III DESAIN WASTE to ENERGY THERMAL INSINERASI

3.1. PARAMETER SAMPAH MASUK INSINERATOR

3.1.1. Penentuan Timbulan Sampah

Jika memperhatikan Neraca masa pada Gambar 2.3 maka timbulan sampah di Kota Bandung pada kurun waktu 2022-2025 diperkirakan sebesar 1683,2-1912 ton/hari. Sampah tersebut terbagi menjadi sampah organik, sampah anorganik dan sampah residu. Pada tahun 2019 berdasarkan Tabel 2.2 timbulan sampah terdata sebesar 1752,59 ton/hari sehingga masih masuk pada range prediksi timbulan sampah di Tahun 2022-2025. Namun demikian, ternyata timbulan sampah di Kota Bandung bergerak lebih cepat dibandingkan dengan perkiraan tersebut.

Target dari pengolahan ini adalah sampah yang tergolong residu, serta yang diprediksi masih diangkut ke TPA. Jika diprosentasekan sampah organik yang masih diangkut ke TPA regional adalah sebesar $\pm 13\%$ dari total timbulan sampah, sementara sampah anorganik yang belum terolah sebanyak $\pm 14\%$ dan residu itu sendiri sebesar $\pm 14\%$. Angka tersebut merupakan target yang telah ditetapkan dan didokumentasikan pada Master Plan persampahan di Kota Bandung, dan akan menjadi acuan pada studi ini.

Tabel di bawah menginformasikan timbulan sampah per orang/hari di Kota Bandung berkisar antara 0,45-0,87 kg/orang/hari atau sebesar 3,18-4,10 L/orang/hari. Sementara timbulan sampah pada suatu TPS dengan luas lebih dari 200 m² timbulan sampah yang masuk sebesar 114,78 m³/hari, sementara pada skala kelurahan timbulan total hanya mencapai 27- 38 m³/hari, artinya satu TPS dengan luas > 200 m², dapat melayani sekitar 3-4 kelurahan.

Sementara berat jenis di TPS mencapai 214,29 kg/m³, dan di kelurahan sebesar 130,45-201 kg/m³. Tingginya berat jenis di TPS dibandingkan pada skala TPS karena adanya faktor kompaksi.

Tabel 3. 1 Timbulan Sampah Pada Skala Kelurahan Dan TPS

Skala	Timbulan	Satuan
TPS Sukapura	0,869 4,1 114,78	kg/org/hari L/org/hari m ³ /hari
Kelurahan Kebon Pisang	0,45 3,45 4.965 38,06	kg/orang/hari liter/orang/hari kg/hari m ³ /hari
Kelurahan Babakan Ciamis	0,64 3,18 5.529 27,5	kg/orang/hari liter/orang/hari kg/hari m ³ /hari



3.1.2. Penentuan Timbulan Sampah Untuk Insinerator

Jika insinerator akan ditempatkan pada skala TPS, maka timbulan sampah yang dapat digunakan untuk di bakar dapat dilihat pada Tabel 3.2 di bawah. Jenis sampah yang akan di bakar adalah jenis sampah yang biasa ditemui di Kota Bandung (kolom 1), pengelompokan sampah dilakukan berdasarkan data rencana neraca masa dari master plan Kota Bandung (kolom 2), persentase merupakan angka persentase komposisi sampah yang diambil dari data Kota Bandung (kolom 3), sementara residu diambil dari neraca masa pada masterplan sampah kota bandung (kolom 4). Angka-angka tersebut kemudian digunakan untuk menentukan timbulan sampah di TPS, dengan asumsi timbulan total di TPS sebesar 115 m³/hari.

Tabel 3. 2 Kuantitas timbulan sampah berdasarkan neraca masa master plan persampahan

Jenis Sampah	kelompok	Persentase	Residu	Timbulan (m ³ /hari)
1	2	3	4	5
Sisa Makanan	Organik compostable	45%	13%	6.7
Kayu, Ranting, Daun	Organik non compostable	4%	100%	4.6
Kertas	Organik	13%	13%	1.9
Plastik	Non-Organik	0.91%	14%	0.1
Kain	Non organik	4.75%	14%	0.8
Karet dan Kulit	Non organik	2%	14%	0.3
Total		70%		14.5

Tabel di atas menginformasikan bahwa persentase sampah yang dapat dibakar adalah 70%, karena beberapa jenis sampah seperti B3, gelas dan logam tidak dianjurkan untuk dimasukkan kedalam insinerator. Secara kuantitas kebutuhan *feeding* sampah pada insinerator adalah 1 m³/jam, setara dengan 215 kg/jam (berat jenis sebesar 215 kg/m³), artinya sampah yang dapat dibakar adalah 24 m³/hari. Fakta tersebut menunjukkan bahwa prosentase sisa makanan yang dapat diolah dapat ditingkatkan hingga 31% sehingga kebutuhan sampah untuk *feeding* dapat terpenuhi pada skala TPS sebesar 24 m³/hari setara dengan 5.166 Kg/hari.

Tabel 3. 3 Kuantitas Timbulan Sampah Berdasarkan Usulan Studi Ini

Jenis Sampah	Jenis sampah	Persentase	Residu	Timbulan (m ³)
Sisa Makanan	Organik compostable	45%	31%	16.2
Kayu, Ranting, Daun	Organik non compostable	4%	100%	4.6
Kertas	Organik	13%	13%	1.9



Plastik	Non-Organik	0.91%	14%	0.1
Kain	Non organik	4.75%	14%	0.8
Karet dan Kulit	Non organik	2%	14%	0.3
Total		70%		24.0

3.1.3. Penentuan Komposisi Sampah

Komposisi sampah di Indonesia pada umumnya didominasi oleh sampah organik, begitu pula di Kota Bandung. Perbandingan komposisi sampah di TPS dengan Kota Bandung tidaklah berbeda jauh, sehingga pada proses desain dapat menggunakan komposisi sampah Kota Bandung di Tahun 2019.

3.2. PERHITUNGAN PEMBAKARAN

3.2.1. Nilai Kalor

Kalor merupakan salah satu bentuk energi. Kalor yang dihasilkan sampah berasal pada saat pembakaran sampah. Jumlah panas yang dikeluarkan pada saat pembakaran sebanding dengan panas yang dibebaskan dari sejumlah pembakaran sampah. Nilai kalor biasanya dinyatakan dalam satuan energi per bagian dari bahan, seperti kca/kg, kJ/kg, Btu/m³.

Nilai kalor atau *heating value* merupakan jumlah energi kalor yang dilepaskan hahan bakar pada saat terjadinya oksidasi unsur- unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut. Banyaknya nilai kalor yang dihasilkan akan mempengaruhi besarnya energi yang dihasilkan nantinya.

Dalam pengukuran nilai kalor yang dihasilkan oleh pembakaran tiap komposisi sampah, nilai kalor dari sampah perkotaan sangat bervariasi antara 5.500 Btu/lbs - 10.000 Btu/lbs dapat dilihat dalam Tchobanoglou pada tabel berikut:

Tabel 3. 4 Komponen Sampah

Komponen Sampah	Nilai kalor (kJ/kg)	Nilai Kalor (kcal/kg)
	As collected	As collected
Sisa makanan	3.489 - 6.978	833 - 1.667
Kertas Keras	13.956 - 17.445	3.333 - 4.167
Kertas Putih	11.630 - 18.608	2.778 - 4.444
Plastik	27.912 - 37.216	6.667 - 8.889
Tekstil	15.119 - 18.608	3.611 - 4.444
Daun	2.326 - 18.608	556 - 4.444



Kaca*	116 - 233	28 - 56
Kaleng*	233 - 1.163	56 - 278

Sumber Tchobanoglou,1993

Formula yang digunakan untuk menghitung nilai panas yang dikenal sebagai rumus Dulong ditampilkan di bawah ini; (% C, H, O, N dan S dari substansi diketahui).

$$\frac{MJ}{kg} = 337C + 1419(H_2 - 0.125O_2) + 93S + 23N$$

Formula yang dikenal dengan nama Rumus Dulong ini digunakan untuk mendapatkan nilai kalor dari sampah berdasarkan kandungan karbon, Nitrogen, oksigen, dan Hidrogennya.

Perse C, H, O, N, S, Cl, H₂O dan abu tergantung pada komponen dalam RDF dan ditampilkan dalam tabel berikut ini :

Tabel 3. 5 Ultimate Analisis Dari Beberapa Komponen Sampah

Komponen RDF (Refuse Derived Fuel)	% C	% H	0%	% N	% S	% Cl	% H ₂ O	% ash
Kertas	34.4	4.72	32.4	0.16	0.21	0.24	21	4.62
Plastik	56.4	7.79	8.05	0.85	0.29	3	15	8.59
Kayu	41.2	5.03	34.5	0.02	0.07	0.09	16	2.82
Tekstil	37.2	5.02	27.1	3.1	0.28	0.27	25	1.98
Kulit,karet	43.1	5.37	11.6	1.34	1.17	4.97	10	22.5
Organik	46.2	6.1	33.3	1.9	0.36	0.01	4.9	7.23

Sumber ; Maria & Pavesi (2006)

RDF merupakan bahan yang mudah terbakar atau dengan kata lain adalah suatu bahan yang mempunyai fraksi nilai kalor yang tinggi yang terbentuk dari *Municipal Solid Waste (MSW)*. Ada beberapa istilah lain yang digunakan untuk bahan bakar yang berasal dari MSW seperti *Recovered Fuel (REF)*, *Packaging Derived Fuel (PDF)*, *Paper and Plastic Fraction (PPF)* dan *Process Engineered Fuel (PEF)* (Gendebien, 2003).

Ada definisi lain didefinisikan oleh standar ASTM (2006) bahwa RDF merupakan bahan bakar yang berasal dari MSW dimana logam, kaca dan bahan anorganik lainnya telah dihilangkan dan memiliki ukuran partikel 95% dari beratnya lolos melalui saringan 2 inchi.

Analisa kadar air sampah dilakukan untuk mengetahui kadar air yang terkandung dalam sampah. Analisa kadar air sampah dilihat dari 6 komponen sampah yang akan dipakai untuk menghitung potensi nilai kalor yang dihasilkan. Komponen yang dipakai adalah sampah organik, plastik, kertas, kain, karet, serta kayu.



Tabel 3. 6 Prosentase Kadar Air, Volatile Dan Abu Pada Sampah

Sampel	Kadar air	Kadar Volatile	Kadar abu
	(%)	(%)	(%)
Plastik	20.436	67.786	32.214
Kertas	23.496	83.769	16.231
Kain	8.619	92.894	7.106
Karet	0.78	86.63	13.369
Kayu	40.07	95.269	4.731
Organik	79.892	82.766	7.234

Sumber : Zahra F. 2012

Dari literatur yang telah ada dijabarkan nilai kalor yang dihitung dari persamaan Dulong (2006) sebagai berikut:

Tabel 3. 7 Nilai Kalor Komponen Sampah

Komponen Sampah	Dulog (2006)*		
	(MJ/kg)	BTU/lb	kcal/kg
Plastik	25.77	11078.52	6153.88
Kertas	14.81	6366.82	3536.63
Kain	20.14	8658.19	4809.43
Karet	26.77	11508.42	6392.68
Kayu	7.14	3069.49	1705.03
Organik	5.57	2394.54	1330.12

Sumber ; Maria & Pavesi (2006)

3.2.2. Analisa Pembakaran

Bahan bakar yang digunakan adalah campuran sampah organik, plastik, kertas, kain, kayu, dll yang mempunyai karakteristik sebagai berikut:

Tabel 3. 8 Karakteristik Ultimate Analisis Sampah

Kondisi kering								
Sampel	Komposisi	Komponen						
	%	C	H2	O	N2	S	H2O	Ash
Plastik	0.28%	56.4	7.79	8.05	0.85	3	15	8.59
Kertas ,	5.28%	34.4	4.72	32.4	0.16	0.24	21	4.62
Kain	2.22%	37.2	5.02	27.1	3.1	0.27	25	1.98



Karet	0.83%	43.1	5.37	11.6	1.34	4.97	10	22.5
Kayu	12.78%	41.2	5.03	34.5	0.02	0.09	16	2.82
Organik	45.00%	46.2	6.1	33.3	1.9	0.01	4.9	7.23
logam	0.28%							
Lain-lain	33.33%							
Total Campuran	100.00%	44.00	5.75	32.87	1.43	0.13	9.10	6.20
Kondisi Basah Dengan Kadar Air 40%								
Total Campuran		29.98	3.91	22.40	0.97	0.09	40.00	4.22

Nilai dari komponen volatile matter pada sampah akan sangat tergantung pada komposisi sampah dan kadar airnya. Sehingga setiap TPS yang akan dikaji perlu adanya pengambilan sampel untuk mengetahui komposisi dari sampah TPS tersebut.

Nilai kalor yang dikandung oleh sampah juga sangat dipengaruhi oleh komposisi sampah daerah kajian. Nilai kalor dari sampah untuk komposisi sampah yang tercantum pada Tabel 3.9 secara kumulatif ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 3. 9 Nilai Kalor Kumulatif

Sampel	Komposisi	Nilai Kalor
	%	kcal/kg
Plastik	0.28%	6153.88
Kertas ,	5.28%	3536.63
Kain	2.22%	4809.43
Karet	0.83%	6392.68
Kayu	12.78%	1705.03
Organik	45.00%	1330.12
logam	0.28%	
Lain-lain	33.33%	
Total Campuran	100%	1777.88

Nilai kalor yang dihitung setiap komponen sampah menggunakan persamaan Dulong dan dikumulatifkan berdasarkan fraksi volume sampah, maka diperoleh nilai kalor sampah adalah sebesar 1778 kcal/kg.



3.2.2.1. Pembakaran dan Gas Asap

Berdasarkan reaksi pembakaran karbon, jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk membakar karbon adalah 1 mol oksigen per mol karbon. Karena satu kg-mol karbon memiliki berat sekitar 12 kg dan satu kg-mol oksigen (O_2) memiliki berat sekitar 32 kg, setiap kg karbon dalam bahan bakar membutuhkan 2,67 (32/12) kg oksigen. Demikian pula, setiap kg hidrogen dalam bahan bakar membutuhkan 8,00 (32/4) kg oksigen. Karbon menimbang berat molekul terbagi (atom) yang disebut faktor pengali. Kebutuhan oksigen stoikiometri untuk pembakaran dihitung berdasarkan bahan bakar konstituen (penyusun yang dapat dibakar) dikalikan faktor pengali. Udara hasil pembakaran yang digunakan dalam boiler mengandung uap air berupa uap air. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan pembakaran ditunjukkan pada Tabel 3.10 berikut:

Tabel 3. 10 Persamaan-Persamaan Yang Digunakan

Parameter	Persamaan	Keterangan
Stoichiometric Air		
Stich. Oxygen	= Fuel Constituent x Multiplier	Komponen oksidasi udara pada reaksi stoikiometri persatuan 100 kg oksidasi
Total Oxygen	= jumlah "Stoichiometric Air"	Jumlah total seluruh komponen oksidasi pada reaksi stoikiometri
Total wet Air	= $(4,32 \times \text{Total Oxygen}) + (\text{Absolute Air Moisture} \times \text{Total Oxygen})$	Kebutuhan udara (termasuk kandungan uap air) dalam reaksi stoikiometri
Combution wet air	= 1,2 X total wet air	Kebutuhan udara pembakaran ditambah 20% kelebihan udara
Flue Gas		
Total	= Banyaknya "Fuel" + Banyaknya "Air"	Banyaknya komponen flue gas dari hasil pembakaran
Total dry flue gas	= Jumlah komponen "Total"	Total komponen gas asap hasil pembakaran
Total wet flue gas	= Total dry flue gas + H_2 conten fuel + Fuel Moisture + Combution air	Total komponen hasil pembakaran (termasuk kandungan uap airnya)
Combustion Efficiency		
Heat Loss		
Dry hot gas loss	= $(\text{total dry flue gas}/100) * C_p * (\text{no leak gas temperatur} - 27)$	Kerugian kalor akibat temperatur gas asap keluar boiler > temperatur lingkungan



Fuel latent heat loss	$=((\text{Moisture fuel}+\text{combustion air})/100)*(\text{entalpi penguapan air})$	Kerugian kalor akibat penguapan uap air dalam proses pembakaran
Fuel hydrogen heat loss	$=(8.936*(\text{H}_2 \text{ content fuel}/100))*(\text{entalpi penguapan air})$	Kerugian kalor akibat pembentukan uap air dari kandungan hydrogen
Unburn carbon loss	$= \% \text{ unburn carbon} * \text{jumlah C}$	Kerugian kalor akibat bahan bakar yang tidak terbakar

Dari perhitungan pembakaran dengan menggunakan persamaan pada Tabel 3.10, maka diperoleh laju gas asap dan temperatur pembakaran sebagai berikut:

Incinerator Combustion Calculation

Stoichiometric Air (dry) Required			Flue Gas			
Fuel Constituent kg/100 kg fuel	Multiplier	Stoich. Oxygen kg/100kg fuel	Constituent	Fuel	Air	Total kg/100kg fuel
C = 29.976	2.670	80.037	CO ₂ = N ₂ Air = Fuel = SO ₂ = Excess air Ox	29.976	80.037	110.013
H ₂ = 3.915	8.000	31.316		0.000	354.792	354.792
S = 0.087	1.000	0.087		0.850	0.000	0.850
N ₂ = 0.973	0.000	0.000		0.087	0.087	0.173
O ₂ = 22.395	-1.000	-22.395		0.000	17.80266	17.803
H ₂ O = 40.000	0.000	0.000		Total dry flue gas		
Ash = 4.221	0.000	0.000		483.631		
Total	101.6	89.045	Moisture			
Stoichiometric air (dry)	4.32*Stoi.Ox	384.673	H2 content fuel =	3.915	31.316	35.231
Moisture in air 27°C, 82%RH	0.023	8.655	Fuel moisture =	40.000	0	40.000
Total wet air		393.328	Combustion air =	0	10.425	10.425
Excess air	0.200	76.935	Wet flue gas			569.286
Moisture in dry air excess	0.023	1.789	Air Heater Leakage			
Total wet air excess		78.704	0.000			
Combustion wet air		472.032	Total wet & dry flue gas			
Ref. Temp. 26.95°C, Cp 1 kJ/(kg.°C)						
HV (kJ/kg)		7444.0				
HV (kCal/kg)		1777.88				
Boiler Efficiency						
Parameter			Value			
The no leak gas Temp (°C)			150			
Heat Loss						
Dry hot gas loss (kJ/kg)			594.866			
Fuel latent heat loss (kJ/kg)			862.000			
Fuel hydrogen heat loss (kJ/kg)			744.731			
Combustion air latent heat loss (kJ/kg)			223.363			
Unburn carbon loss (kJ/kg)	4.2%		282.398			
Total Heat Loss			2707.358			
Heat Credits						
Heat in entering air (kJ/kg)			0.000			
Sensibel heat fuel (kJ/kg)			0.000			
Total Heat Credits (kJ/kg)			0.000			
Combustion Efficiency						
Performance Kriteria			63.63			
Fuel Flow (kg/h)			58.1			
Air Flow (Nm ³ /h)			249.1			
Flue gas flow (Nm ³ /h)			300.4			
Temperatur Pembakaran		900				
Disosiasi	0.6	540				
		343.6				



Temperatur pembakaran yang terjadi pada refraktori di atur diatas 900°C , hal ini untuk menghindari terbentuknya dioxin dan furan pada proses pembakaran. Dengan temperatur refraktori 900°C , maka dengan adanya kehilangan energi dan terjadinya disosiasi pembakaran maka **temperatur gas asap sebesar 343°C**

3.3. DESAIN SISTEM PEMBANGKIT UAP

Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dari bahan bakar sampah domestik ini ditentukan oleh peralatan insinerator yang digunakan, komposisi dan nilai kalor sampah sebagai bahan bakar, volume sampah yang terdapat di TPS kota Bandung dan teknologi yang akan diterapkan dalam menunjang siklus pembangkit uap ini.

Seluruh jenis dan kualitas material, peralatan, prosedur fabrikasi, dan komponen akan sesuai dengan standar teknis ASME Boiler and Pressure Vessel Code, ASTM, ANSI, NFPA, HEI atau standar yang setara dengan peraturan lokal yang telah ditetapkan.

3.3.1. Kajian Termodinamika Pembangkit

Insinerator sebagai peralatan pembakar sampah yang akan digunakan dalam desain ini mempunyai kapasitas pembakaran sampah $20 \text{ m}^3/\text{hari}$. Spesifikasi insinerator yang digunakan dijabarkan sebagai berikut:



- a. Ukuran mesin : 240 CM (L) X 137 CM(W) X 240 CM (H)
- b. Ukuran reaktor pembakaran : 200 CM (L) X 100 CM (W) X 150 CM (H)
- c. Kapasitas pembakaran : 20 M3/day (24 hrs)
- d. Instalasi Hydro-cyclone. Tank : 1 smoke inlet, capacity: 200 L/day
- e. Instalasi IPAS : 1 set
- f. Pemicu api Burner Automatic teknologi Jerman: 1 unit
- g. Blower 3300 : 2 unit
- h. Water pump : 2 unit
- i. Genset 3300 watt : 1 unit
- j. Infrared Thermometer 50-900 derajat : 1 unit
- k. Bata Api SK 34 SNI : 250 batang

Dari peralatan insinerator yang digunakan, serta dari volume sampah yang tersedia di TPS maka kriteria desain yang digunakan dijabarkan sebagai berikut:

- | | |
|--------------------------|---|
| - Laju pembakaran sampah | : 0,5 m³/jam |
| - Nilai kalori sampah | : 1778 kcal/kg |
| - Laju gas asap | : 300 m ³ /jam atau 0,1 kg/s |
| - Temperatur gas asap | : 343°C |

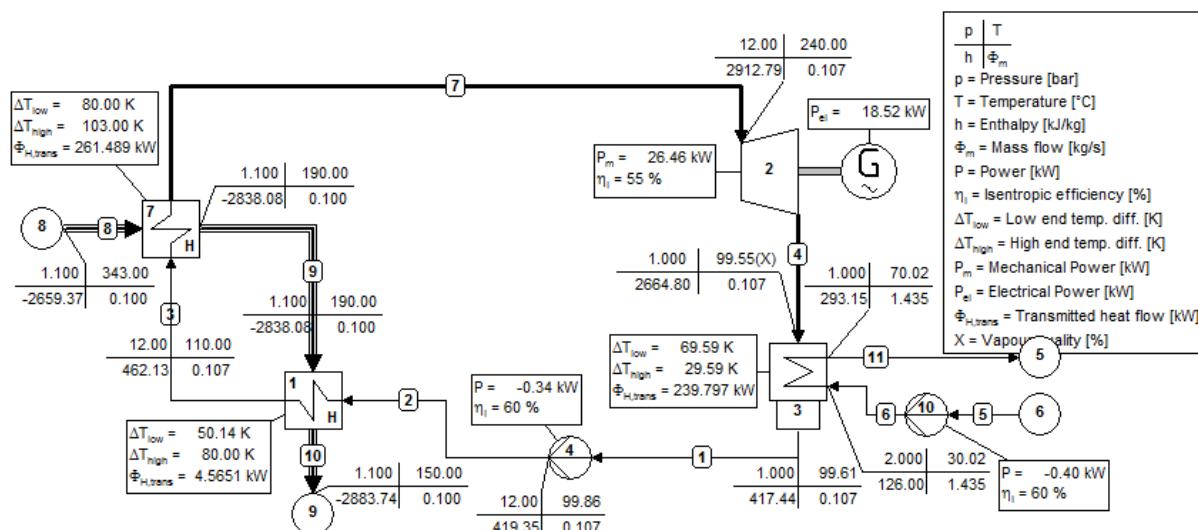


- Temperatur keluar lingkungan : 150°C
- Tekanan Uap : 12 bar (menyesuaikan dengan pompa dan temperatur)
- Tekanan kondensor : 1,1 bar (sistem back pressure)

Untuk kemudahan pembuatan komponen dan mempertimbangkan peralatan yang tersedia di pasaran maka, sistem pembangkit uap yang diusulkan adalah **Siklus Rankine Sederhana dengan turbin back pressure**.

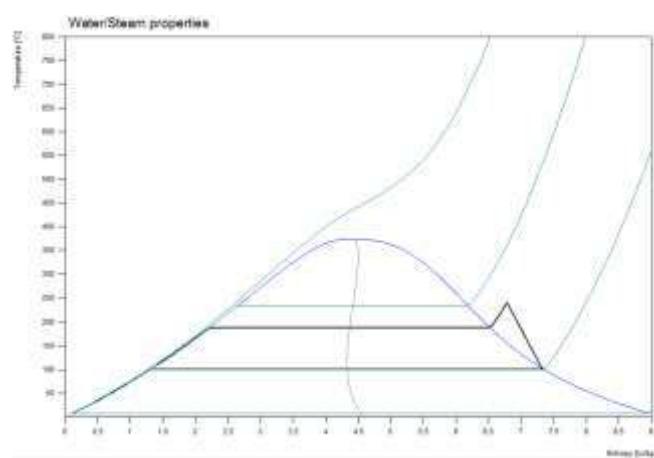
Siklus yang digunakan adalah siklus tertutup, hal ini untuk menghemat penggunaan air sebagai fluida kerja dari sistem pembangkit uap. Simulasi termodinamika dilakukan dengan menggunakan software Cycle Tempo Ver. 5 dengan fluida kerja H_2O .

Dari kriteria yang dijabarkan diatas, maka siklus uap dijabarkan sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Siklus Uap PLTSA

Dari simulasi tersebut, maka diagram Mollier untuk siklus uap ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 3. 2 Diagram Mollier PLTSA



Dari simulasi siklus uap tersebut pada Gambar 3.1, diperoleh daya keluaran kotor 18 kW, daya keluaran ini nantinya akan dipergunakan untuk menggerakkan komponen pendukung lain seperti pompa, fan maupun peralatan kontrol dari sistem. Spesifikasi dari seluruh peralatan yang tercantum pada Gambar 3.1 dijabarkan sebagai berikut:

Tabel 3. 11 Spesifikasi Peralatan Pembangkit Uap

No	Nama Peralatan	Parameter	Besaran	Satuan
1	Turbin Uap	Temperatur Uap Masuk	240	°C
		Tekanan Uap Masuk	12	Bar
		Temperatur Uap Keluar	100	°C
		Tekanan Uap Keluar	1.1	Bar
		Laju Uap	0.107	Kg/s
		Kualitas Uap Keluar	99.55	%
		Daya Turbin	26.5	kW
		Effisiensi Turbin	55	%
		Putaran Turbin	3000	Rpm
2	Generator	Jenis	Sinkron	
		Phasa	3	Phasa
		Putaran	3000	Rpm
		Faktor daya	0.85	Laging
		Daya keluaran	18	kW
3	Kondensor	Tekanan	1,1	Bar
		Temperatur	100	°C
		Transfer Panas	240	kW
		Beda Temperatur Panas	29,6	°C
		Beda Temperatur Dingin	69,6	°C
4	Pompa Pendingin	Head	20	m
		Efisiensi	60	%
		Laju Massa	1,44	Kg/s
		Daya	0,4	kW
5	Pompa Kondensat	Head	120	m
		Efisiensi	60	%
		Laju Massa	0,107	Kg/s
		Daya	0,34	kW
6	Heat Exchanger 1	Tekanan	12	Bar



		Transfer Panas	4,6	kW
		Beda Temperatur Panas	80	°C
		Beda Temperatur Dingin	50,14	°C
7	Heat Exchanger 2	Tekanan	12	Bar
		Transfer Panas	261,5	kW
		Beda Temperatur Panas	103	°C
		Beda Temperatur Dingin	80	°C
8	Heat Exchanger 3 (cooling)	Tekanan	1	Bar
		Transfer Panas	240	kW
		Beda Temperatur Panas	30	°C
		Beda Temperatur Dingin	20	°C
9	Cooling Fan	Flow udara	4	m ³ /s
		Putaran	1500	rpm
		Beda Tekanan	60	kpa
		Daya	0.4	kW
		jumlah	4	Unit

3.3.2. Peralatan Mekanikal

Peralatan mekanikal utama pendukung pembangkit listrik berbahan bakar sampah ini mencangkup, insinerator dan asesorisnya, *heat exchanger*, turbin, pompa kondensat, kondensor, sistem pendingin dan cerobong. Parameter dasar dari peralatan mekanikal dijabarkan sebagai berikut:

3.3.2.1. Insinerator

Insinerasi adalah proses pembakaran sampah yang terkontrol pada temperatur pembakaran sekitar 800°C atau lebih. Hasil pembakaran adalah energi panas, gas asap, dan abu. Panas yang dihasilkan akan tergantung pada kepadatan dan komposisi sampah yang dibakar. Persentase kelembaban relatif dan kadar air sampah, sistem pembakaran, ukuran dan kandungan organik sampah dapat menyebabkan penurunan temperatur pembakaran sampah. Dalam praktiknya, sekitar 65 hingga 80% kandungan energi bahan organik dapat dikonversi sebagai energi panas, yang dapat digunakan baik untuk aplikasi termal langsung, atau untuk menghasilkan daya dengan bantuan generator turbin uap.

Tahapan operasi dasar dari instalasi insinerasi sampah dapat mencakup hal-hal berikut:

- Penerimaan sampah dan penyimpanan
- Pengolahan awal sampah
- Pemasukan sampah ke insenerator



- Konversi energi panas pembakaran sampah
- Pembersihan gas hasil pembakaran
- Pembuangan gas hasil pembakaran
- Penanganan abu pembakaran
- Pengolahan limbah

Incineration adalah cara yang efisien untuk mengurangi volume sampah dan kebutuhan ruang TPS. Instalasi insinerasi dapat ditempatkan dekat dengan pusat timbulan sampah, sehingga mengurangi biaya pengangkutan sampah. Menggunakan abu dari insinerator untuk konstruksi yang ramah lingkungan tidak hanya menyediakan agregat berbiaya rendah tetapi juga mengurangi kebutuhan kapasitas TPS. Secara khusus, pembakaran limbah yang mengandung logam berat dan sebagainya harus dihindari untuk menjaga abu tercemari logam berat.

Semua alternatif pembuangan limbah akhirnya menguraikan bahan organik menjadi molekul karbon yang lebih sederhana seperti CO₂ (karbon dioksida) dan CH₄ (metana). Keseimbangan antara kedua gas ini dan kerangka waktu reaksi bervariasi menurut alternatif. Insinerasi merupakan cara terbaik untuk menghilangkan emisi gas metana dari proses pengelolaan limbah. Selain itu, energi dari proyek limbah menyediakan pengganti pembakaran bahan bakar fosil. Ini adalah dua cara pembakaran membantu mengurangi emisi gas rumah kaca. Salah satu hal yang menarik dari proses insinerasi adalah dapat digunakan untuk mengurangi volume asli bahan mudah terbakar hingga 80 hingga 95%. Pengendalian pencemaran udara masih menjadi masalah utama dalam pelaksanaan insinerasi pembuangan limbah padat.

Insinerator yang digunakan mempunya spesifikasi kapasitas pembakaran 0,83 m³/jam, akan tetapi pada desain insinerator akan dioperasikan secara kontinyu dengan laju pembakaran sampah sebesar 0,5 m³/jam. Untuk mencukupi kebutuhan insinerator tersebut diperlukan peralatan sebagai berikut:

➤ **Blower**

- Kapasitas 3300 CMH
- Putaran 1450 rpm
- Jumlah 2 unit
- Tekanan 250 Pa
- Daya 0,75 kW/Unit

➤ **Pompa**

- Jumlah 2 unit
- Head 24 m
- Daya 0,3 kW/unit
- Laju aliran : 100 l/min



➤ **Burner**

- Temperatur pembakaran minimal 1000°C
- Bahan bakar LPG
- Kebutuhan bahan bakar 6 kg/jam

3.3.2.2. Heat Exchanger

Heat exchanger (alat penukar panas) yang digunakan pada sistem ini berjenis *cross flow bundle tube, shell & tube* dan tipe kompak (radiator). Adapun spesifikasi masing-masing *heat exchanger* yang digunakan dijabarkan sebagai berikut:

3.3.2.2.1. Boiler

Komponen boiler terdiri dari dua komponen, yaitu: *economizer* dan *evaporator*. *Economizer* digunakan untuk menaikkan temperatur air yang berasal dari pompa kondensor hingga cair jenuh, sehingga dapat mengurangi beban pipa *evaporator*. Panas yang digunakan memanfaatkan panas dibagian akhir saluran sebelum dibuang ke cerobong. Jenis alat penukar panas yang digunakan pada *economizer* adalah tubular (berkas pipa) dengan konfigurasi silang untuk aliran menyilang. Sedangkan *evaporator* adalah berkas pipa yang digunakan untuk menguapkan air menjadi uap jenuh. Keluaran pipa boiler ini akan masuk ke *steam drum*. Spesifikasi dari boiler dijabarkan sebagai berikut:

Jenis	: tubular
Panas yang dipindahkan	: 230 kW
Temperatur gas asap masuk	: 293°C
Temperatur gas asap keluar	: 150°C
Laju gas asap	: 0,1 kg/s
Temperatur air masuk	: 100°C
Temperatur air keluar	: 188°C
Laju air	: 0,11 kg/s
Konfigurasi pipa	: Menyilang dengan PT 50,8 mm; PL 50,8 mm
Panjang dan diameter pipa	: 2 m dan 1"
Jumlah pipa	: 170 pipa

3.3.2.2.2. Superheater

Uap masuk *superheater* dengan kondisi uap jenuh yang berasal dari *steam drum* dipanaskan menuju kondisi superpanas. Uap superpanas yang dihasilkan dipergunakan untuk memutar turbin uap. Konfigurasi dari *superheater* dijabarkan sebagai berikut:

Jenis	: tubular
Panas yang dipindahkan	: 40 kW



Temperatur gas asap masuk	: 343°C
Temperatur gas asap keluar	: 293°C
Laju gas asap	: 0,1 kg/s
Temperatur air masuk	: 188°C
Temperatur air keluar	: 240°C
Laju air	: 0,11 kg/s
Konfigurasi pipa	: Menyilang dengan PT 100 mm; PL 100 mm
Panjang dan diameter pipa	: 2 m dan 2"
Jumlah pipa	: 30 pipa

3.3.2.2.3. Kondensor

Kondensor merupakan peralatan untuk mengubah fasa uap menjadi cairan, dimana uap berasar dari keluaran turbin uap dengan cara didinginkan sehingga berkondensasi. Kondensor didesain bertekanan diatas tekanan atmosfir, sehingga bila terjadi kegagalan pada pipa kondensor, maka udara/air dari luar tidak dapat masuk kondensor. Media pendingin kondensor merupakan air pendingin yang disirkulasi dari alat penukar panas kompak (radiator). Fluida pendingin radiator merupakan udara atmosfir yang dialirkan secara paksa menggunakan 4 buah fan. Geometri dari kondensor dijabarkan sebagai berikut:

Jenis	: Shell & Tube 2 laluan
Panas yang dipindahkan	: 240 kW
Tekanan kondensor	: 1,1 bar
Temperatur uap masuk	: 100°C
Temperatur uap keluar	: cair jenuh 100°C
Laju uap	: 0,11 kg/s
Temperatur air pendingin masuk	: 30°C
Temperatur air keluar	: 70°C
Laju air	: 1,45 kg/s
Konfigurasi pipa	: Menyilang dengan PT 50,8 mm; PL 50,8 mm
Panjang dan diameter pipa	: 2 m dan 1"
Jumlah pipa	: 120 pipa

3.3.2.3. Steam Drum

Steam drum merupakan peralatan untuk menampung uap yang dihasilkan oleh boiler dan mendistribusikan uap yang akan masuk ke *superheater*. *Steam drum* digunakan sebagai reservoir untuk mengatur kelebihan atau kekurangan fluida kerja yang mengalir di sistem. Parameter dasar dari steam drum dijabarkan sebagai berikut:



Diameter	: 0,6 m
Panjang	: 1,2 m
Kapasitas	: 400 lt
Tekanan	: 15 bar
Temperatur	: 350°C

3.3.2.4. Turbin

Turbin uap untuk pembangkit ini adalah *single shaft, single casing, single flow* dan jenis *condensing unit* dengan tipe cangkang turbin adalah *horizontally*. Turbin berfungsi mengubah kerja fluida dan energi kinetik fluida menjadi energi mekanik fluida yang disalurkan melalui sebuah poros yang merupakan baja tempa poros tunggal yang disambungkan secara kaku dengan poros generator.

Turbin yang digunakan dalam sistem ini direncanakan memanfaatkan turbin gas dari peralatan *turbocharger*, yang disusun secara bertingkat untuk mendapatkan daya yang diperlukan generator. Atau dapat juga menggunakan turbin uap curtis skala laboratorium untuk kapasitas yang sesuai dengan sistem. Turbin uap kapasitas laboratorium telah banyak diproduksi oleh manufaktur peralatan-peralatan laboratorium.

Spesifikasi turbin uap yang akan digunakan dijabarkan sebagai berikut:

Jenis	: Turbin Curtis/Parson
Putaran	: 3000 rpm
Daya	: 26,5 kW
Tekanan	: Maks 13 bar
Temperatur masuk:	240 °C
Efisiensi	: 55%
Laju uap	: 1.1 kg/s
Tekanan keluar	: 1 bar

3.3.2.5. Pompa Kondensat

Pompa kondensat digunakan untuk mengalirkan dan menaikkan tekanan dari tekanan kondensor ke tekanan boiler. Tipe pompa ini merupakan pompa sentrifugal yang mampu bekerja pada temperatur antara 100°C hingga 120°C. Spesifikasi dari pompa kondensat ini dijabarkan sebagai berikut:

Jenis	: Sentrifugal horisontal
Temperatur kerja	: 100 – 120 °C
Head	: 130 -140 m
Debit	: 9 lt/min



Daya : 0,4 kW
Efisiensi : 60%

3.3.2.6. Sistem Pendingin

Sistem pendingin digunakan untuk menyediakan air pendingin kondensor, dimana sistem ini tersirkulasi tertutup, sehingga dapat menghemat kebutuhan air baku untuk sistem. Sistem pendingin terdiri dari pompa air pendingin, alat penukar panas jenis kompak (radiator) dan fan.

Sirkulasi air pendingin yang masuk kondensor berasal dari alat penukar panas jenis kompak, yang didinginkan dengan media udara dengan penggerak kipas/blower untuk mengalirkan udara luar ke alat penukar panas. Air pendingin keluar dari kondensor yang mempunyai temperatur lebih tinggi, masuk alat penukar panas kompak dan didinginkan dengan udara lingkungan yang dihembuskan oleh fan yang terpasang pada alat penukar panas. Spesifikasi dari sistem pendingin dijabarkan sebagai berikut:

- Pompa
 - Jenis : pompa sentrifugal
 - Head : 20 m
 - Kapasitas : 90 lt/min
 - Efisiensi : 60%
 - Temperatur operasi : 75°C maks
- Alat penukar panas
 - Jenis : kompak
 - Temperatur air masuk : 700C
 - Temperatur air keluar : 350C
 - Debit air : 90 lt/min
 - Temperatur udara masuk : 30 0C
 - Temperatur udara keluar : 500C
 - Laju Udara : 5,7 m3/s
 - Panas yang dipindahkan : 240 kW
- Fan
 - Jenis : aksial
 - Jumlah : 4 unit
 - Laju udara : 1,4 m3/s
 - Tekanan : 60 Pa
 - Daya : 0,35 kW



3.3.2.7. Cerobong

Cerobong merupakan peralatan untuk menyalurkan gas buang ke lingkungan. Dalam hal ini cerobong didesain juga untuk membantu hisapan gas hasil pembakaran dari insenertor yang digunakan. Desain dari cerobong harus mampu mengalirkan gas hasil pembakaran ke lingkungan, sehingga tinggi cerobong akan disesuaikan dengan adanya beda tekanan antara sisi bawah dan atas cerobong untuk membantu hisapan gas asap. Cerobong terbuat dari struktur baja yang mempunyai diameter 0,6 m dengan tinggi minimal 8 m.

Fasilitas yang terdapat dalam cerobong adalah adanya peralatan penghilang debu dengan cara mengkabutkan air di dalam cerobong. Pengkabutan air tersebut akan menyebabkan kelembaban abu meningkat, dan akan terbawa turun bersama air yang dikabutkan di dalam cerobong.

3.3.2.8. Peralatan *pretreatment* bahan baku (sampah)

Penanganan awal sampah sebelum masuk ke insenerator diperlukan untuk mengkondisikan sampah mempunyai ukuran 5 cm x 5 cm dengan kandungan air berkisar 40%. Hal ini diperlukan untuk memudahkan proses pembakaran dan meningkatkan nilai kalor dari campuran sampah yang akan diumpulkan ke insenerator. Bahan baku sampah yang akan masuk ke insenerator perlu dilindungi dari air hujan, sehingga perlu adanya penutup atap untuk menjaga kandungan air pada sampah yang akan diumpulkan ke insenerator. Adapun peralatan untuk penanganan awal sampah sebelum masuk ke insenerator dijabarkan sebagai berikut:

a. Peralatan pencacah sampah

Ada beberapa jenis sistem pencacah atau penghancur. Diantaranya dari itu adalah roller mill, hammer mill, dan shredder crusher. Detail dari peralatan tersebut dijabarkan sebagai berikut:

- Roller Mill

Roller mill tersusun oleh tiga pasang rol, yang dimana dua pasang rol di depan adalah rol mulus yang memiliki fungsi utama untuk menghancurkan bahan dengan tindakan ekstrusi. Dimana yang dapat membuat kulit barang tidak terlalu fragmentaris untuk mempengaruhi proses selanjutnya. Mesin beroperasi secara sederhana, dengan output yang besar, memiliki fungsi dan tahan lama.



b. Peralatan pengering sampah

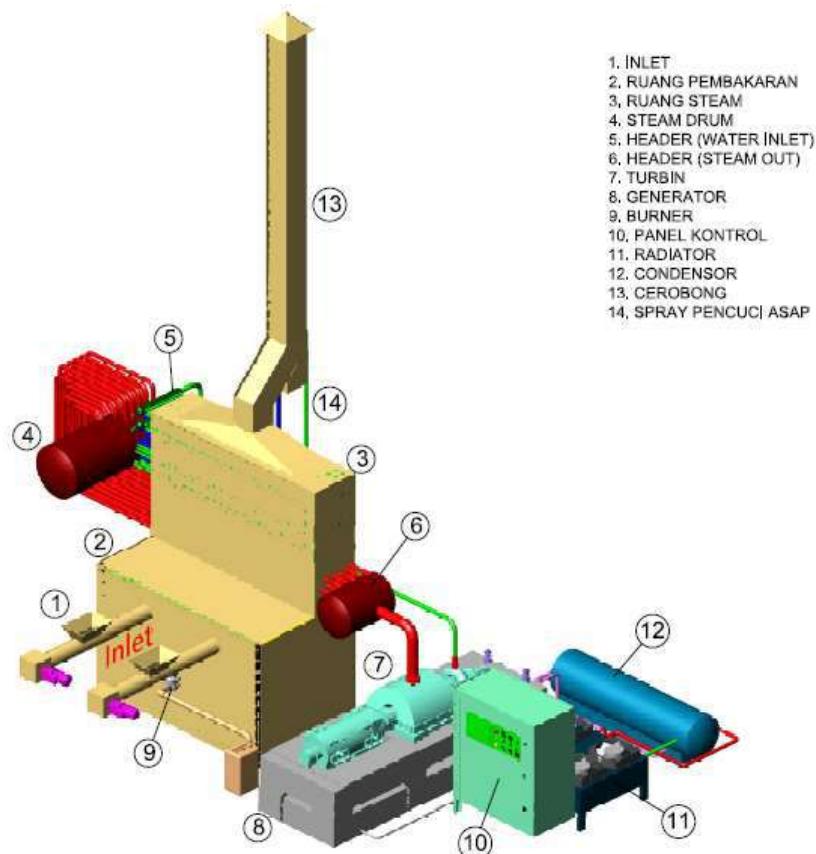
Peralatan pengering sampah yang digunakan memanfaatkan aliran udara/gas panas yang tidak termanfaatkan pada sistem utama, seperti udara panas yang keluar dari insenerator setelah dimanfaatkan oleh evaporator/boiler sebelum masuk ke cerobong, atau memanfaatkan udara yang keluar dari radiator. Peralatan pengering merupakan peralatan opsional yang perlu dikaji lebih jauh terkait dengan adanya pencemaran bau dari proses pengeringan sampah yang dilakukan.

Bila peralatan pengeringan awal sampah tidak dipergunakan, maka sampah basah yang masuk insenerator dapat diatasi dengan penyalaan burner untuk membantu mengatasi penurunan temperatur pembakaran yang terjadi.

3.3.3. Peralatan Elektrikal

Bagian – bagian peralatan elektrikal yang akan dijelaskan pada desain dasar peralatan elektrikal mesin insinerator energi adalah sebagai berikut

1. Generator
2. Kubikle
3. Peralatan Sistem Pentanahan (*Equipment Grounding System*)



Gambar 3. 7 Mesin Insinerator



3.3.3.1. Standar Yang Digunakan

Standar dan kode Indonesia yang digunakan sebagai referensi untuk desain dan konstruksi pada *power plant* adalah;

SLI	Standar Listrik Indonesia
SNI	Standar Nasional Indonesia
SPLN	Standar Perusahaan Umum Listrik Negara
PUIL	Peraturan Umum Instalasi Listrik-Indonesia

Sedangkan Standar untuk kebutuhan peralatan harus disesuaikan dengan *International Electrotechnical Commission* (IEC) atau yang sesuai dengan *International Standards*, sebagai berikut;

ANSI	American National Standards Institute
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
NFPA	National Fire Protection Association
UL	Underwriters Laboratories
ICEA	Insulated Cable Engineer Association
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
ISO	International Organization for Standardization
NEMA	National Electrical Manufacturers Association

Dalam instalasi instrumen elektrikal pada generator sinkron Insenerator Energi ini perlu juga dipertimbangkan sistem pengaman sebagai berikut :

- Pengaman arus lebih
- Pengaman tegangan kurang
- Pengaman tegangan lebih
- Pengaman diferensial generator
- Pengaman frekuensi
- Pengaman putaran lebih
- Pengaman stator gangguan tanah
- Pengaman daya balik

3.3.3.2. Generator

Setelah mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan pada beberapa tipe generator dan pertimbangan dari cara pengoperasian mesin insinerasi untuk energi maka diusulkan generator yang dipakai adalah generator sinkron tanpa sikat dengan mempertimbangkan bahwa pembangkit ini harus bisa beropersi sendiri.



Berdasarkan arah porosnya generator untuk turbin yang digunakan adalah poros Horizontal. Generator dengan poros horizontal digunakan untuk mesin-mesin dengan kapasitas pembangkitnya besar atau mesin-mesin dengan putaran rendah.

3.3.3.2.1. Konstruksi Generator

Kontruksi rotor terdiri dari dua jenis :

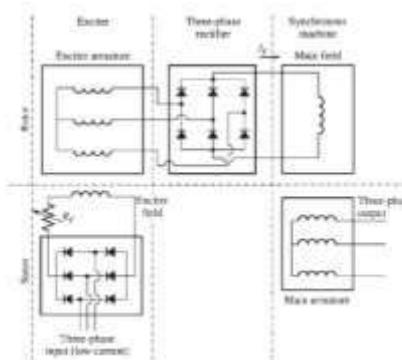
1. Jenis kutub menonjol (*salient pole*) untuk generator kecepatan rendah dan menengah. Kutub menonjol terdiri inti kutub dan sepatu kutub. Belitan medan dililitkan pada badan kutub, pada sepatu kutub juga dipasang belitan peredam (*damper winding*). Belitan kutub terbuat dari tembaga, sedangkan badan kutub dan sepatu kutub terbuat dari besi lunak.
2. Jenis kutub silinder untuk generator dengan kecepatan tinggi terdiri dari alur-alur sebagai tempat kumparan medan. Alur-alur tersebut terbagi atas pasangan-pasangan kutub.

Belitan jangkar yang di tempatkan pada stator disebut sebagai belitan stator untuk sistem tiga phasa hubungannya terdiri dari :

1. Belitan satu lapis (*single layer winding*) bentuknya dua macam :
 - a. Mata rantai (*consentris/chain winding*)
 - b. Gelombang (*wave*)
2. Belitan dua lapis (*double layer winding*) bentuknya dua macam
 - a. Gelombang (*Wave*)
 - b. Gelung (*Lap*).

Generator besar menggunakan *brushless excitors* untuk mensuplai tegangana DC pada rotor. Terdiri dari generator AC kecil yng mempunyai kumparan medan magnet dipasang pada stator dan kumparan jangkar dipasang pada poros rotor.

Output generator penguat (arus bolak-balik tiga phasa) yang dirubah menjadi tegangan searah dengan penyearah tiga phasa yang juga dipasang pada rotor. Tegangan searah DC dihubungkan ke rangkaian medan magnit utama. Arus medan magnet generator utama dapat dikontrol oleh arus medan magnet generator penguat, yang berada pada stator seperti yang ditunjukan pada gambar dibawah ini :





Sirkulasi udara dapat dilakukan dengan fan yang dipasang diluar generator dan menggunakan fan pada generator itu sendiri. Filter harus dipasang pada arah udara masuk untuk mengurangi debu yang masuk ke generator.

Bantalan generator untuk Insenerator Energi ini diusulkan menggunakan tipe konvensional dengan pendingin dan pelumas sendiri. Jika diperlukan pompa minyak untuk pelumas dan pendinginan maka dapat dihubungkan dengan poros generator dan unit ini mampu untuk menghentikan turbin kalau terjadi kekurangan atau kehilangan tekanan dalam pipa minyak.

Gaya tolak aksial akan diatasi oleh bantalan turbin dan bantalan penaik kecepatan (*speed increaser*). Bantalan generator hanya mendapat gaya tolak aksial dari generator saja.

Kualitas Sistem isolasi belitan generator ditentukan oleh kelembaban didalam generator itu sendiri. Oleh sebab itu diusulkan dipasang pemanas (heater) pada generator untuk mencegah kondensasi uap air saat generator tidak dioperasikan.

3.3.3.2.2. Spesifikasi Generator

Pemilihan tegangan dasar (*rated voltage*) generator merupakan sesuatu yang cukup penting, sebab adanya kenyataan, bahwa penggunaan tegangan yang lebih tinggi akan menyebabkan makin tebalnya isolasi yang digunakan, sehingga luas penampang penghantar akan menjadi kecil dan investasi untuk generaor tersebut akan menjadi cukup tinggi. Akan tetapi penggunaan tegangan yang lebih rendah akan mengakibatkan rating arus menjadi lebih besar untuk suatu kapasitas daya pembangkit tertentu, oleh sebab itu untuk insenerator energi ini diusulkan keluaran tegangan generator adalah 380 Volt 3 Phasa. Pertimbangan pemilihan putaran generator disesuaikan dengan putaran turbin. Berikut adalah spesifikasi generator yang akan diusulkan.

Berikut adalah spesifikasi generator pada Insenerator Energi

Tabel 3. 12 Spesifikasi Generator Unit Pembangkit

Parameter	Unit Generator
Jumlah	1 unit
Type	3 Phases, 4 pole, Synchronous Generator
Capacity	21.176 kVA
Shaft	Horizontal
Voltage	380 V
Current	34.19 A
Power Factor	0.8 lag
Frequency	50 Hz



Speed	3000 rpm
Connection	Star
Insulation Class	Class – H
Duty	Continuous
Ambient temperature	40 ⁰ C
Excitation System	Brushless Excitation Systems
Voltage adjustability	+/- 10 %
Efficiency	>95 %
Grounding	Neutral Grounding Resistor
Generator Protection	All of Generator Protections (over current, ground fault, loss of excitation, directional power, over speed , inter winding short circuit etc)
AVR	Electronic that compatible to generator

3.3.3.3. Peralatan Hubung

Generator insinerator energi berkapasitas 18 kW dan terhubung langsung pada kubikel 3 phasa. Dari kubikel tersebut bisa diaplikasi untuk berbagai kegunaan mulai dari inverter DC untuk *storage/battery* hingga ke beban lainnya seperti trafo 380 V/220 V, penerangan, motor penggerak, dll



Gambar 3. 8 Peralatan Hubung

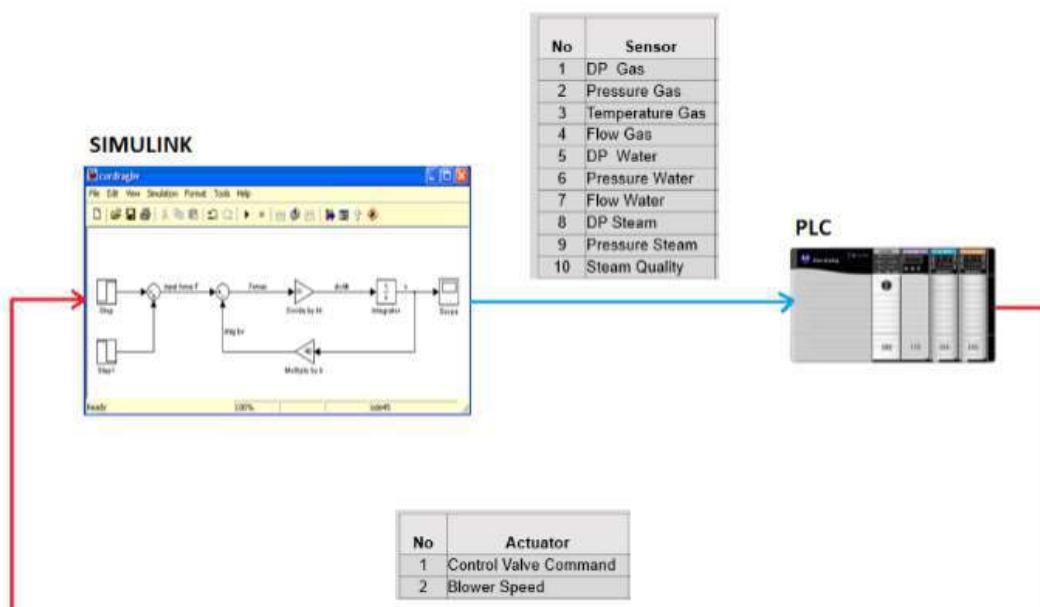


Pemasangan kubikel yang digunakan pada insinerator ini adalah untuk

- Kontrol dan kendali peralatan insenerator
- Akuisisi data
- PLC
- Spare untuk beban

3.3.3.3.1. Kontrol dan Kendali Peralatan

Kontrol dan kendali pada seluruh peralatan diperlukan agar operasional dan kondisi peralatan dapat dipantau secara detail dalam berbagai kondisi. Kontrol dan kendali peralatan menggunakan Programmable Logic Control (PLC) yang mendeteksi berbagai sensor dan mengirimkan data tersebut melalui aplikasi pada komputer di ruang kontrol.



Gambar 3. 9 Rangkaian Sistem PLC

Pada insinerator energi ini ada beberapa parameter yang harus diperhatikan yaitu :

1. Flow Steam Sensor
2. Pressure Steam Sensor
3. Temperature Sensor
4. Speed Sensor
5. Wattmeter
6. Refrigeration Water
7. Pump Valve
8. Generator Performance

Dengan diketahuinya kondisi parameter-parameter diatas, maka pola operasi pembangkitan listrik akan dapat dimonitor setiap saat dan membuat kondisi peralatan menjadi handal.



3.3.3.3.2. Nilai Arus

Nilai arus menentukan kapasitas peralatan - peralatan seperti kubikel, nilai pemutus menentukan *circuit breaker*, untuk menentukan *disconnecting switches* ditentukan nilai arus pentahanan dan penentuan pada nilai arus nominal. Seluruh peralatan hubung dan didesain untuk frekuensi 50 Hz



Gambar 3. 10 Moulded Case Circuit Breaker

Pemutus tenaga menggunakan Moulded Case Circuit Breaker (MCCB) dengan besaran sebagai berikut

- Tegangan : 380 V
- Arus normal : 50 A
- Arus pemutus hubung singkat :
 - 20 kA Icu saat 440 V AC 50/60 Hz
 - 50 kA Icu saat 230-240 V AC 50/60 Hz
 - 25 kA Icu saat 400-415 V AC 50/60 Hz
 - 30 kA Icu saat 125 V DC 2P
 - 50 kA Icu saat 125 V DC 3P
 - 60 kA Icu saat <= 250 V DC 4P
- Frekuensi : 50/60 Hz



BAB IV ANALISIS TEKNOEKONOMI WtE INSINERASI

4.1. UMUM

Analisis teknoeconomis dilakukan untuk menganalisis biaya mencakup biaya investasi, biaya operasional dan *maintenance*, biaya-biaya *raw material* dan juga sumber daya manusia, dan lain sebagainya. Analisis teknoeconomis juga dapat digunakan untuk menganalisa suatu proyek pembangkit dari segi biaya, apakah investasi tersebut menguntungkan dan dapat dilanjutkan kepada tahap implementasi. Untuk menganalisis teknoeconomis dari WtE Termal Insinerasi, maka perlu diketahui terlebih dahulu istilah istilah terkait analisis teknoeconomis.

4.2. ISTILAH UMUM

Penerapan kelayakan investasi dilakukan dengan membandingkan antara besarnya biaya yang dikeluarkan dengan manfaat yang diterima dalam suatu proyek investasi untuk jangka waktu tertentu. Analisis investasi dilakukan dengan terlebih dahulu menyusun aliran tunai. Dalam analisis finansial diperlukan kriteria investasi yang digunakan untuk melihat kelayakan suatu usaha. Sebagai kriteria investasi digunakan beberapa indikator kelayakan investasi yaitu: *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Net Benefit Cost Ratio* (B/C Ratio), *Payback Period*, *Analisis Switching Value*.

4.2.1. Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) dapat diartikan sebagai nilai sekarang dari arus pendapatan yang ditimbulkan oleh investasi. NPV menunjukkan keuntungan yang akan diperoleh selama umur investasi, merupakan jumlah nilai penerimaan arus tunai pada waktu sekarang dikurangi dengan biaya yang dikeluarkan selama waktu tertentu, rumus yang digunakan dalam perhitungan NPV adalah sebagai berikut :

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t}$$

Keterangan :

- B_t = Penerimaan yang diperoleh pada tahun ke- t
- C_t = Biaya yang dikeluarkan pada tahun ke- t
- n = Umur ekonomis proyek
- i = Tingkat suku bunga (%)
- t = Tahun investasi ($t=0,1,2,\dots,n$)

Dalam metode NPV terdapat tiga kriteria kelayakan investasi, yaitu:



1. $NPV > 0$, artinya secara finansial usaha layak dilaksanakan karena manfaat yang diperoleh lebih besar dari biaya.
2. $NPV = 0$, artinya secara finansial usaha sulit dilaksanakan karena manfaat yang diperoleh hanya cukup untuk menutupi biaya yang dikeluarkan.
3. $NPV < 0$, artinya secara finansial usaha tidak layak untuk dilaksanakan karena manfaat yang diperoleh lebih kecil dari biaya yang dikeluarkan.

4.2.2. Internal Rate Of Return (IRR)

IRR adalah nilai *discount rate* yang memuat NPV dari suatu proyek sama dengan nol, *Internal Rate of Return* adalah tingkat rata-rata keuntungan tahunan dinyatakan dalam persen. Pada saat nilai IRR lebih besar dari nilai diskonto yang berlaku, maka proyek layak untuk dilaksanakan. Sebaliknya jika nilai IRR lebih kecil dari nilai diskonto maka proyek tersebut tidak layak untuk dilaksanakan. Rumus yang digunakan dalam menghitung IRR adalah sebagai berikut

$$IRR = i_1 + (i_2 - i_1) \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2}$$

Keterangan :

- NPV_1 = NPV yang bernilai positif
- NPV_2 = NPV yang bernilai negatif
- i_1 = Tingkat bunga yang menghasilkan NPV_1
- i_2 = Tingkat bunga yang menghasilkan NPV_2

4.2.3. Net Benefit Cost Ratio (Net B/C Ratio)

Net B/C ratio merupakan angka perbandingan antara nilai arus manfaat sekarang dibagi dengan nilai arus biaya sekarang. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$Net \frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} > 0}{\sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} < 0}$$

Keterangan :

- B_t = Penerimaan yang diperoleh pada tahun ke- t
- C_t = Biaya yang dikeluarkan pada tahun ke- t
- n = Umur ekonomis proyek
- i = Tingkat suku bunga (%)
- t = Tahun investasi ($t=0,1,2,\dots,n$)

Angka tersebut menunjukkan tingkat besarnya manfaat pada setiap tambahan biaya sebesar satu satuan uang. Kriteria yang digunakan untuk pemilihan ukuran. Net B/C ratio dari



manfaat proyek adalah memilih semua proyek yang nilai B/C rationya sebesar satu atau lebih, jika manfaat diskontonya pada tingkat biaya opportunitis capital tetapi jika nilai net B/C ratio < 1, maka proyek tersebut tidak layak untuk dilaksanakan.

4.2.4. Payback Period

Payback period merupakan jangka waktu periode yang dibutuhkan untuk membayar kembali semua biaya-biaya yang telah dikeluarkan di dalam investasi suatu proyek. Semakin cepat waktu pengembalian, maka semakin baik proyek tersebut untuk diusahakan. Namun, analisis *payback period* memiliki kelemahan karena mengabaikan nilai uang terhadap waktu (*present value*) dan tidak memperhitungkan periode setelah *payback period*. Secara sistimatis dapat dirumuskan sebagai berikut

$$P = \frac{I}{Ab}$$

Keterangan :

- P = Jumlah waktu yang diperlukan untuk mengembalikan modal
- I = Biaya investasi
- Ab = Benefit bersih setiap tahun

4.2.5. Analisis Switching Value

Analisis *switching value* digunakan untuk mengetahui seberapa besar perubahan pada nilai penjualan dan biaya variabel yang akan dihasilkan. Keuntungan normal yaitu NPV sama dengan nol atau mendekati, IRR sama dengan tingkat suku bunga berlaku dan Net B/C sama dengan satu. Variabel yang akan dianalisis dengan *switching value* merupakan variabel yang dianggap signifikan dalam proyek. Adapun variabel-variabel yang dimaksud antara lain, biaya variabel, sehingga dengan analisis ini akan dicari tingkat harga penjualan minimum dan peningkatan biaya maksimum agar proyek masih dapat dikatakan layak. Penggunaan variabel analisis tersebut didasarkan pada konversi harga input yang sebenarnya sebagai bagian dari komponen biaya. Oleh karena itu akan dilihat perubahan nilai penjualan minimum dan biaya variabel, apakah masih memenuhi kriteria umum kelayakan investasi atau tidak.

4.2.6. Capex (Capital Expenditure)

CAPEX adalah biaya bisnis yang dikeluarkan untuk menciptakan manfaat akuisisi yaitu masa depan aset yang akan memiliki masa manfaat luar tahun pajak. Capex juga dapat disebut pengeluaran untuk modal dari suatu proyek atau pekerjaan, sebagai aset untuk masa depan. Sebagai contoh adalah pengeluaran untuk aset seperti bangunan, mesin dan peralatan.

Belanja modal adalah pengeluaran menciptakan manfaat masa depan. Sebuah belanja modal tersebut terjadi ketika bisnis menghabiskan uang baik untuk membeli aktiva tetap atau untuk menambah nilai aset yang ada dengan masa manfaat yang melampaui tahun pajak.



Sehingga CAPEX juga dapat disebut **pengeluaran di depan** sebagai aset. Beberapa aspek yang harus dipertimbangkan dalam menghitung CAPEX untuk membangun antara lain adalah *Process plant* (biaya komponen utamanya secara keseluruhan), seperti:

- Waste reception & handling (tempat penanganan dan penerimaan sampah pertama kali)
- Ruang bakar (furnace, sistem insinerasi/mass-burning)
- Penanganan flue gas (air pollution control)
- Sistem energy recovery (boiler, kondensor, superheater, dan lain sebagainya)
- Pekerjaan sipil dan bangunan
- Koneksi-koneksi utilitas atau komponen pendukung
- Biaya desain, pengadaan, dan manajemen proyek
- Biaya terkait perencanaan dan perizinan
- Dan lain sebagainya

4.2.7. Opex (Operational Expenditure)

OPEX (pengeluaran operasional) mengacu pada biaya yang dikeluarkan dalam perjalanan bisnis biasa, seperti penjualan, beban umum dan administrasi (dan tidak termasuk harga pokok penjualan atau HPP, pajak, depresiasi dan bunga).

Beberapa aspek yang masuk kepada OPEX antara lain adalah:

- Upah tenaga kerja (manajer, engineer, operator, dan lain sebagainya)
- Biaya raw material (contoh: bahan-bahan kimia untuk flue gas treatment)
- Biaya akomodasi, transportasi, dan ad-cost lainnya terkait masalah administrasi
- Dan lain sebagainya

4.3. SKEMA PENDANAAN PROYEK

Untuk mengantisipasi meningkatnya permintaan pada proyek-proyek infrastruktur dan meningkatkan pelayanan publik serta mempercepat pertumbuhan ekonomi, Pemerintah Indonesia telah mengupayakan berbagai langkah strategis, termasuk mengeluarkan seperangkat peraturan perundang-undangan yang mengatur pendanaan proyek-proyek infrastruktur. Secara umum, ada tiga jenis pendanaan untuk pengembangan infrastruktur, yaitu: pendanaan melalui skema APBN (*full public finance*), skema kerja sama antar badan usaha (*business to business*) dan mekanisme kerja sama antara pemerintah dan badan usaha (KPBUs).

4.3.1. Peraturan Sektoral

Seperangkat peraturan perundang-undangan yang pertama-tama harus diperhatikan adalah peraturan perundang-undangan yang mengatur kegiatan pengelolaan sampah di Indonesia, termasuk Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah (UUNo. 18/2008), Peraturan Pemerintah No. 81 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga (PP No. 81/2012), dan Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2007 tentang Kerja Sama Daerah (PP No.



50/2007). Seperangkat peraturan perundang-undangan selanjutnya yang harus diperhatikan yaitu peraturan perundang-undangan untuk sektor energi, antara lain Undang-undang No. 30 Tahun 2007 tentang Energi (UU No. 30/2007); UU No. 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan (UU No. 30/2009); dan Peraturan Pemerintah No. 14 Tahun 2012 tentang Kegiatan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (PP No. 14/2012). Peraturan perundang-undangan tersebut memiliki aturan pelaksanaannya masing-masing dan secara bersamaan peraturan-peraturan tersebut mengatur syarat dan ketentuan mendasar yang harus dipatuhi dalam mengembangkan proyek WtE di Indonesia. Daftar peraturan perundang-undangan tersebut dapat dilihat dalam Lampiran. Berdasarkan peraturan perundang-undangan tersebut, ketentuan-ketentuan fundamental yang harus diperhatikan.

4.3.1.1. Pembagian Kewenangan

Berdasarkan UU No. 18/2008 dan PP No. 81/2012, pengelolaan sampah perkotaan, termasuk pengelolaan Tempat Pembuangan akhir (TPA), menjadi tanggung jawab pemerintah daerah. Namun demikian, kegiatan pengelolaan sampah perkotaan tersebut harus dilaksanakan sesuai dengan norma, standar, prosedur, dan kriteria yang telah diatur oleh pemerintah pusat. Berkenaan dengan kegiatan pengelolaan sampah dan TPA, pemerintah pusat juga memiliki beberapa kewenangan.

Dalam setiap proyek KPBU, pemerintah daerah (baik di tingkat kabupaten/kota maupun provinsi), khususnya untuk proyek WtE, akan bertindak sebagai Penanggung Jawab Proyek Kerjasama (PJPK). Dalam pelaksanaan proyek WtE, PJPK dapat melakukan beberapa bentuk kerja sama, antara lain kerja sama antar pemerintah daerah, kerja sama antara pemerintah daerah dan pemerintah pusat, dan/atau kerja sama antara pemerintah daerah dan badan usaha. Namun, jika kerja sama tersebut menggunakan anggaran daerah, maka rencana kerja sama, khususnya rencana penggunaan anggarannya, harus disahkan terlebih dahulu oleh DPRD. Kerja sama dimaksud diatur oleh Undang-Undang No. 23 Tahun 2014 tentang Pemerintah Daerah (UU No. 23/2014) dan Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2007 tentang Kerja Sama Daerah (PP No. 50/2007). Pada pelaksanaanya, kerja sama akan dilaksanakan melalui cara-cara yang diatur dalam Peraturan Menteri Dalam Negeri No. 22 Tahun 2009 tentang Prosedur Teknis Tata Cara Kerja Sama Daerah (Permendagri No. 22/2009). Berdasarkan Permendagri No. 22/2009, perjanjian kerja sama antara pemerintah daerah dan badan usaha berdasarkan skema KPBU setidaknya harus mengatur hal-hal berikut ini:

- Para pihak;
- Tujuan kerja sama;
- Ruang lingkup kerja sama;
- Hak dan kewajiban para pihak;
- Jangka waktu kerja sama;
- Pengakhiran perjanjian;



- Keadaan kahar; dan
- Penyelesaian sengketa.

Dalam menyiapkan perjanjian kerja sama, jika dibutuhkan, PJPK dapat meminta saran dari para ahli/konsultan independen, staf/ahli dari kantor pemerintah provinsi, dan kementerian atau institusi pemerintah tertentu. Perlu diperhatikan juga bahwa perjanjian kerja sama tersebut dapat mengatur ketentuan tambahan sepanjang tidak melanggar peraturan perundang-undangan yang berlaku. Berdasarkan PP No. 50/2007, jika pelaksanaan perjanjian kerja sama membutuhkan persetujuan DPRD berkaitan dengan anggaran daerah dari, maka anggaran harus disetujui dan dialokasikan dalam Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) untuk tahun fiskal yang sedang berjalan. Untuk proyek-proyek WtE berdasarkan skema KPBU, persetujuan DPRD biasanya diperlukan untuk hal-hal yang berhubungan dengan *tipping fee*. Persetujuan DPRD tidak diperlukan jika pendanaan proyek telah dianggarkan dalam DIPA untuk tahun fiskal yang sedang berjalan. Adapun prosedur yang dibutuhkan untuk memperoleh persetujuan DPRD dilaksanakan berdasarkan ketentuan PP No. 50/2007 sebagaimana diilustrasikan pada diagram di bawah ini:

Kepala pemerintah daerah menyerahkan permintaan tertulis guna persetujuan ketua parlemen, termasuk draf perjanjian kerja sama, penjelasan perjanjian kerja sama dan tujuan proyek, hak/kewajiban pihak yang mengontrak, periode kerja sama dan jumlah anggaran yang dibutuhkan. Permintaan tersebut disalin untuk pemerintah yang lebih tinggi tingkatannya, dan kementerian dan badan pemerintah terkait.

Pemerintah daerah meninjau ulang draf perjanjian kerja sama dalam 45 hari dan membuat keputusan (disetujui/tidak disetujui). Jika ada komentar, parlemen dapat meminta pemerintah daerah untuk merevisi draf perjanjian kerja sama dan menyerahkan ulang dalam 14 hari.

Setelah penyerahan ulang, parlemen daerah mempunyai 15 hari untuk membuat keputusannya. Jika tidak ada tanggapan yang diterima dari parlemen daerah dalam waktu tersebut, maka harus dipertimbangkan bahwa persetujuan telah diberikan.

Sumber; Buku Panduan Sampah Untuk Energi (ESDM)

Gambar 4. 1 Alur yang menunjukkan proses persetujuan DPRD

4.3.1.2. Jaminan Pemerintah

Perpres No. 38/2015 menetapkan bahwa proyek KPBU dapat menerima jaminan pemerintah. Jaminan ini diatur dalam Peraturan Presiden No. 78 Tahun 2010 tentang Penjaminan Infrastruktur dalam Proyek Kerja Sama antara Pemerintah dan Badan Usaha Yang Dilakukan Melalui Badan Usaha Penjamin Infrastruktur (Jaminan Infrastruktur) . Selanjutnya, jaminan pemerintah diatur dalam Peraturan Menteri Keuangan No. 260/PMK.011/2010 tentang Petunjuk Pelaksanaan Penjaminan Infrastruktur dalam Proyek Kerja Sama Pemerintah dengan Badan



Usaha (PMK No. 260/2010). Perpres No. 78/2010 menyatakan bahwa jaminan infrastruktur atau jaminan pemerintah berarti jaminan dalam bentuk tanggung jawab finansial yang merupakan tanggung jawab PJPK melalui mekanisme perjanjian jaminan. Tanggung jawab finansial berada di bawah tanggung jawab PJPK yang dijamin oleh Kementerian Keuangan melalui PT. Penjaminan Infrastruktur Indonesia (PT. PII), yakni sebuah BUMN yang bertugas membuat mekanisme pembagian risiko untuk proyek kerja sama antara pemerintah dan badan usaha. Sebagaimana disebutkan di atas, jaminan pemerintah diberikan oleh Kementerian Keuangan melalui PT. PII. Hal ini berarti Kementerian Keuangan merupakan kementerian yang berwenang dalam mengurus hal ini. Kementerian Keuangan bertanggung jawab untuk memantau dan mengelola risiko yang terkait dengan jaminan pemerintah. Berdasarkan PMK No. 260/2010, Kementerian Keuangan mempunyai kewenangan untuk: menentukan kriteria pemberian jaminan pemerintah; meminta dan memperoleh data/informasi yang dibutuhkan dari pihak yang merencanakan proyek kerja sama dengan tujuan untuk memperoleh jaminan pemerintah; menyetujui atau menolak jaminan pemerintah; dan menentukan jenis jaminan pemerintah yang akan diberikan. Jika pengajuan jaminan pemerintah disetujui, maka ketentuan jaminan pemerintah dimasukkan dalam dokumen tender untuk memilih badan usaha. Dalam pemberian jaminan pemerintah, PT. PII dapat melibatkan satu atau dua penjamin tambahan. Berdasarkan PMK No. 206/2010, pemerintah yang diwakili oleh Kementerian Keuangan dapat bertindak sebagai koordinator pemberi jaminan. Meskipun demikian, pemerintah menekankan pentingnya optimalisasi pemanfaatan jaminan pemerintah melalui PT. PII untuk mengendalikan risiko fiskal negara. Selain itu, PT. PII dapat bertindak sebagai koordinator pemberi jaminan dalam kerja sama dengan lembaga finansial multilateral untuk proyek tertentu yang telah disepakati oleh kedua belah pihak. Jika nilai yang diminta dalam jaminan melebihi modal yang dipegang oleh PT. PII, maka Kementerian Keuangan dapat mengambil bagian dalam pemberian jaminan pemerintah. Jika hal ini terjadi, PT. PII akan melanjutkan proses jaminan yang diminta dengan menyerahkan hasil evaluasi dan pembagian risiko kepada Kementerian Keuangan, yang akan mengevaluasi proposal lebih lanjut. Jika Kementerian Keuangan menyetujui jaminan yang diajukan, maka Kementerian Keuangan akan menginformasikan kepada PT. PII melalui surat yang menyatakan kesediannya untuk memberikan jaminan pemerintah.

Berdasarkan Perpres No. 78/2010, pada saat pemberian jaminan pemerintah PT. PII menyusun dan menandatangani perjanjian jaminan dengan Badan Usaha (*pihak tertanggung*). Peraturan tersebut juga menetapkan bahwa perjanjian jaminan harus mencantumkan ketentuan sebagai berikut :

- Persetujuan ruang lingkup persetujuan oleh pemberi jaminan dan pihak tertanggung;
- Prosedur pelaksanaan kewajiban bagi pemberi jaminan kepada pihak tertanggung;
- Prosedur penyelesaian perselisihan antara pemberi jaminan dan penerima; dan
- Hukum Indonesia sebagai hukum yang berlaku.



BAB V KESIMPULAN

1. Jumlah penduduk Jawa Barat yaitu 18,37% dari total penduduk Indonesia dengan laju pertumbuhan penduduk wilayah Jawa Barat pada tahun 2019 yaitu 49,32 juta jiwa dan diperkirakan pada tahun 2030 jumlah penduduk Jawa Barat yaitu 55,2 juta jiwa dengan daerah tinggal berada di perkotaan sebesar 72,5%.
2. Presentasi komposisi sampah di kota Bandung yang berasal dari sampah organik dari tahun 2016, 2017 dan 2019 yaitu 31-50% setara dengan timbulan sampah 500-800 m³/hari (1.700 ton/hari) sedangkan berdasarkan analisis perkiraan timbulan sampah Kota Bandung tahun 2022-2025 yaitu 1.638,2 – 1.912 ton/perhari. Artinya timbulan sampah kota Bandung saat ini telah melebihi dari rencana.
3. Rencana desain untuk pemanfaatan sampah menjadi energi yaitu dengan teknologi insinerasi. Dimana alat yang digunakan yaitu insinerator dengan pemanfaatan bahan baku sampah organik sebesar 24 m³/hari (5.166 kg/hari) dimana bahan baku untuk *feeding* insinerator dapat mencapai kuantitas 1m³/jam.
4. Terkait bahan baku sampah organik untuk proses pembakaran tersebut pada skala TPS yang tersebar di wilayah Kota Bandung telah terpenuhi. Besarnya kapasitas sampah yang masuk insinerator perlu disesuaikan dengan peralatan insenerator yang tersedia di pasaran untuk kapasitas laju umpan sampah sebesar 0,5 m³/s.
5. Insinerator yang digunakan mempunya spesifikasi kapasitas pembakaran 0,83 m³/jam, akan tetapi pada desain insinerator akan dioperasikan secara kontinyu dengan laju pembakaran sampah sebesar 0,5 m³/jam dengan nilai kalor total campuran sampah sebesar 1.777,88 kcl/kg. Untuk mencukupi kebutuhan insenerator tersebut diperlukan peralatan sebagai berikut:

➤ **Blower**

- Kapasitas 3300 CMH
- Putaran 1450 rpm
- Jumlah 2 unit
- Tekanan 250 Pa
- Daya 0,75 kW/Unit

➤ **Pompa**

- Jumlah 2 unit
- Head 24 m
- Daya 0,3 kW/unit
- Laju aliran : 100 l/min



➤ **Burner**

- Temperatur pembakaran minimal 900°C
- Bahan bakar LPG
- Kebutuhan bahan bakar 6 kg/jam

6. Spesifikasi Peralatan Pembangkit Uap

No	Nama Peralatan	Parameter	Besaran	Satuan
1	Turbin Uap	Temperatur Uap Masuk	240	°C
		Tekanan Uap Masuk	12	Bar
		Temperatur Uap Keluar	100	°C
		Tekanan Uap Keluar	1.1	Bar
		Laju Uap	0.107	Kg/s
		Kualitas Uap Keluar	99.55	%
		Daya Turbin	26.5	kW
		Effisiensi Turbin	55	%
		Putaran Turbin	3000	Rpm
2	Generator	Jenis	Sinkron	
		Phasa	3	Phasa
		Putaran	3000	Rpm
		Faktor daya	0.85	Laging
		Daya keluaran	18	kW
3	Kondensor	Tekanan	1,1	Bar
		Temperatur	100	°C
		Transfer Panas	240	kW
		Beda Temperatur Panas	29,6	°C
		Beda Temperatur Dingin	69,6	°C
4	Pompa Pendingin	Head	20	m
		Efisiensi	60	%
		Laju Massa	1,44	Kg/s
		Daya	0,4	kW
5	Pompa Kondensat	Head	120	m
		Efisiensi	60	%
		Laju Massa	0,107	Kg/s
		Daya	0,34	kW



6	Heat Exchanger 1	Tekanan	12	Bar
		Transfer Panas	4,6	kW
		Beda Temperatur Panas	80	°C
		Beda Temperatur Dingin	50,14	°C
7	Heat Exchanger 2	Tekanan	12	Bar
		Transfer Panas	261,5	kW
		Beda Temperatur Panas	103	°C
		Beda Temperatur Dingin	80	°C
8	Heat Exchanger 3 (cooling)	Tekanan	1	Bar
		Transfer Panas	240	kW
		Beda Temperatur Panas	30	°C
		Beda Temperatur Dingin	20	°C
9	Cooling Fan	Flow udara	4	m ³ /s
		Putaran	1500	rpm
		Beda Tekanan	60	kpa
		Daya	0.4	kW
		jumlah	4	Unit

7. Cerobong terbuat dari struktur baja dengan diameter 0,6 m dan tinggi minimal 8 m. Desain dari cerobong mampu mengalirkan gas hasil pembakaran ke lingkungan, tinggi cerobong didesain dengan adanya beda tekanan antara sisi bawah dan atas cerobong untuk membantu hisapan gas asap.

8. Spesifikasi Generator

Parameter	Unit Generator
Jumlah	1 unit
Type	3 Phases, 4 pole, Synchronous Generator
Capacity	21.176 kVA
Shaft	Horizontal
Voltage	380 V
Current	34.19 A
Power Factor	0.8 lag
Frequency	50 Hz

