



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian tugas akhir ini akan dilakukan studi literatur yang merupakan pencarian referensi yang relevan dengan permasalahan yang akan di selesaikan baik dari buku, artikel dan jurnal yang berkaitan. Penelitian terkait pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) telah dilakukan di beberapa universitas di Indonesia.

Dalam penelitiannya yang berjudul Analisis Potensi Sampah Sebagai Bahan Baku Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) di Pekanbaru. Penelitian ini menjelaskan tentang nilai kalor sampah yang masuk 2.500 kkal/kg dan jumlah sampah yang tersedia 407,73 ton/hari maka diperoleh energi termal yang masuk ke boiler sebesar 11.776,7 kkal per detik atau setara dengan 49.394,79 kW. Kemudian asumsi efisiensi boiler dibuat berdasarkan harga tipikal boiler sampah yang beroperasi dengan sistem yang sama. Asumsi ini dirasa realistis karena pertimbangan efisiensi boiler batu bara konvensional yang dapat mencapai 85 %. Sedangkan efisiensi turbin uap dibuat berdasarkan efisiensi siklus rankine yang berkisar antara 25-30 %. Maka dipilih angka 25 % untuk faktor keamanan dalam perhitungan. Sehingga daya netto yang akan digunakan untuk menggerakkan generator 10.496,39 kW. Kemudian efisiensi generator dipilih 90%, sehingga memberikan hasil daya keluaran dari generator sebesar 9.446,75 kW atau 9,446 MW [8].

Penelitian berikut yang berjudul Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBG) *On-Grid System* dari Sampah Organik di Kota Pekanbaru. Tujuan dari penelitian tersebut adalah mendapatkan gambaran potensi energi yang terkandung dari pengolahan volume sampah, menganalisa data untuk digunakan sebagai acuan dasar dalam perencanaan pembangunan PLTBG sampah organik menggunakan teknologi *anaerobic digestion*. Pemanfaatan sampah dengan menggunakan teknologi biogas (PLTBG) jumlah sampah organik yang dapat di konversi menjadi listrik yaitu dari potensi sampah organik sebesar 367.745 kg/hari mampu menghasilkan biogas sebesar 51.025,99 m³/hari dan potensi energi listrik yang di hasilkan sebesar 5.756,60 KW. Dilihat dari empat (4) aspek kelayakan yang di teliti, aspek teknis, aspek ekonomi, aspek sosial dan lingkungan pada penelitian ini menunjukkan hasil yang layak untuk dilakukan [29].



Dalam realisasi pembangkit listrik mini tenaga sampah (*Realization Of Mini Rubbish Power Plant*) pemanfaatan sampah kering berupa kertas-kertas bekas dan dedaunan untuk menjadi bahan bakar dari pembangkit listrik tenaga uap. pada penelitian ini menjelaskan Sampah kering yang telah dikumpulkan, dijadikan bahan bakar untuk memanaskan wadah berisi air dan menghasilkan uap untuk menggerakkan turbin. Turbin ini akan memutar generator sehingga dapat menghasilkan listrik. Dari sampah kering yang digunakan pada penelitian menunjukkan bahwa daun kering adalah sampah kering yang paling efektif dan efisien digunakan dalam pembakaran. Tegangan terbesar didapat pada tekanan uap 20 Psi yaitu sebesar 23.1 V. Daya rata-rata yang dihasilkan adalah sebesar 0.079 W [17].

Dalam Penelitian yang berjudul *Distributed Generation* Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kota (PLTSA) Tipe *Incinerator* Solusi Listrik Alternatif Kota Medan. Tujuan dari penelitian tersebut adalah menjelaskan bahwa peningkatan tumpukan sampah di berbagai wilayah kota-kota besar di Sumatera, khususnya kota Medan, perlu dipikirkan solusi cara penanganannya secara menyeluruh hingga *zero waste*, seperti mengolah sampah perkotaan menjadi sumber energi listrik alternatif berbasis *renewable energy*, mencegah kerusakan lingkungan hidup akibat pencemaran sampah [16].

Mengkaji tentang Studi Emisi Karbondioksida (CO₂) dan metana (CH₄) dari kegiatan Reduksi Sampah di Wilayah Surabaya Bagian Selatan. Tujuan dari penelitian tersebut yaitu menghitung jumlah emisi karbon dioksida dan metan dari timbunan sampah, menghitung jumlah emisi karbon dan gas metan yang dihasilkan oleh kegiatan reduksi sampah di wilayah Surabaya dan menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi masyarakat untuk melakukan kegiatan reduksi sampah [19].

Pada penelitian yang berjudul *Penggunaan Sampah Organik Sebagai Pembangkit Listrik di TPA Suwung Denpasar*. Ada berbagai cara untuk menanggulangi masalah sampah sekaligus dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik yaitu dengan pembakaran sampah dengan teknologi *Thermal Converter* dan penggasan dengan Teknologi Gasifikasi. Kedua teknologi ini masing-masing mempunyai kelebihan-kelebihan maupun kekurangan-kekurangan. Dari kondisi diatas maka dicoba untuk menganalisa dan membandingkan berapa besar daya listrik yang bisa dihasilkan dari sampah organik yang tersedia di TPA Suwung, dilihat dari besar nilai kalor dari sampah organik tersebut, baik untuk teknologi *thermal converter* maupun teknologi gasifikasi. Sehingga nantinya dapat dipergunakan sebagai bahan



pertimbangan untuk memilih teknologi yang tepat dipergunakan untuk mengatasi kondisi sampah kota khususnya sampah Sarbagita. Dari hasil perhitungan, besar daya listrik yang dapat dibangkitkan, dengan teknologi *thermal konverter* rata-rata sebesar 6 MW per unit atau sama dengan 144 MWh dan dengan teknologi gasifikasi dapat membangkitkan listrik sebesar 4,128 MW per unit atau sama dengan 99,072 MWh, dengan efisiensi pembangkitan sebesar 30% [18].

Pada penelitian dengan topik Analisa Kelayakan Usaha Pengolahan Sampah Menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) di Kota Bogor. Penelitian tersebut mencantumkan skenario pendirian proyek PLTSa di Kota bogor dengan kondisi berdasarkan hasil studi PLTSa kota dan kabupaten Bandung. Tujuan penelitian ini yaitu menganalisa kelayakan proyek PLTSa ditinjau dari aspek teknis, aspek pasar dan aspek manajemen, menganalisa kelayakan proyek PLTSa ditinjau dari aspek finansial, menganalisa kepekaan proyek PLTSa yang mempengaruhi kondisi kelayakan. Dari Aspek Teknis, Aspek Pasar, Aspek Manajemen PLTSa Kota Bogor layak untuk dilaksanakan karena TPA Galuga paling ideal untuk lokasi PLTSa selain karena letak bahan baku utama, sumberdaya seperti air dan kondisi udara serta untuk menghindari penolakan akibat adanya kekhawatiran warga sekitar terhadap polusi dari pembakaran sampah. Teknologi proses dan peralatan PLTSa dapat disediakan dan disesuaikan dengan sumberdaya yang dimiliki Kota Bogor pada kapasitas produksi 250 ton sampah per-hari dan *output* sebesar 1.600 kw perjam. [6] .

Dari beberapa penelitian yang telah disebutkan diatas terdapat beberapa kekurangan dan kelebihan. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian dengan menggabungkan beberapa metode terbaik dan menyesuaikan dengan kondisi lingkungan yang ada agar mendapatkan hasil yang lebih maksimal. Hal-hal yang akan digabungkan dari penelitian tersebut ialah tentang pembangkit tenaga listrik yang tersambung dengan jaringan PLN (Perusahaan Listrik Negara) atau *On-Grid system* dengan memanfaatkan sampah sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) dengan menggunakan teknologi *Refuse Derived Fuel I(RDF)*. Tujuan utama yang akan dicapai dari penelitian ini adalah tingkat kelayakan pembangkit yang ditinjau dari empat aspek penting yaitu, aspek teknis, aspek ekonomi, aspek sosial dan lingkungan.



2.2 Definisi Sampah

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 Pasal 1 mendefinisikan sampah sebagai sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat .

Berdasarkan SK SNI Tahun 1990, sampah adalah limbah yang bersifat padat terdiri dari zat organik dan zat anorganik yang dianggap tidak berguna lagi dan harus dikelola agar tidak membahayakan lingkungan dan melindungi investasi pembangunan.

Menurut para ahli sampah mempunyai pengertian yang berbeda. Tanjung mendefinisikan sampah sebagai sesuatu yang tidak berguna lagi, yang dibuang oleh pemakainya. Bahar, sampah merupakan barang buangan berupa bahan padat yang mengakibatkan turunnya nilai estetika lingkungan, nilai sumber daya, membawa penyakit, menimbulkan polusi, menyumbat saluran air, dan banyak dampak negatif lainnya. Kodoatie, Sampah merupakan limbah atau barang buangan yang bersifat padat ataupun setengah padat, yang berasal dari hasil dari kegiatan perkotaan atau siklus kehidupan makhluk hidup. Mustofa, Sampah merupakan bahan yang sudah tidak berharga dalam pemakaian, barang cacat atau rusak. Basriyanta, Sampah merupakan barang yang dianggap tidak dapat dipakai lagi & dibuang oleh pemakai sebelumnya, akan tetapi masih akan mungkin dapat dipakai atau diolah kembali.

Jadi dari pengertian diatas dapat di simpulkan bahwa yang dimaksud dengan sampah ialah benda yang berwujud padat yang sudah tidak berharga dan berguna lagi bagi pemakainya

2.3 Jenis dan Karakteristik Sampah

2.3.1 Jenis Sampah

Sampah dapat digolongkan dalam beberapa kriteria, yaitu berdasarkan sifatnya, bentuknya, dan sumbernya.

a. Penggolongan sampah berdasarkan sifatnya Berdasarkan sifatnya ada dua jenis sampah yaitu sampah organik dan sampah anorganik.

1. Sampah organik, yaitu sampah yang mudah membusuk, terdiri dari bahan-bahan penyusun tumbuhan dan hewan yang diambil dari alam atau dihasilkan dari kegiatan pertanian, perikanan, atau yang lain. Sampah ini dengan mudah diuraikan dalam proses alami. Sampah rumah tangga sebagian besar



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

merupakan bahan organik. Contohnya: daun, kayu, kulit telur, kardus, kertas, sampah dari dapur dan lain-lain.

2. Sampah anorganik, yaitu sampah yang tidak mudah membusuk, berasal dari sumber daya alam tak terbarui seperti mineral dan minyak bumi, atau proses industri. Beberapa dari bahan ini tidak terdapat di alam seperti plastik dan aluminium. Sebagian zat anorganik secara keseluruhan tidak dapat diuraikan oleh alam, sedangkan sebagian lainnya hanya dapat diuraikan dalam waktu yang sangat lama. Contohnya: kaleng, kaca, plastik, logam, karet dan lain-lain.

b. Penggolongan sampah berdasarkan bentuknya Berdasarkan bentuknya sampah dapat dibagi menjadi tiga, yaitu sampah padat, sampah cair, dan gas.

1. Sampah padat adalah segala bahan buangan selain kotoran manusia, urin dan sampah cair. Dapat berupa sampah rumah tangga, sampah dapur, sampah kebun, plastik, metal, gelas dan lain-lain.
2. Sampah cair adalah bahan cairan yang telah digunakan dan tidak diperlukan kembali dan dibuang ke tempat pembuangan sampah.
3. Sampah gas misalnya karbon dioksida, ammonia, dan gas-gas lainnya.

c. Penggolongan sampah berdasarkan sumbernya

1. Sampah alam adalah sampah yang diproduksi di kehidupan liar diintegrasikan melalui proses daur ulang alami, seperti daun-daun kering di hutan yang terurai menjadi tanah. Di luar kehidupan liar, sampah-sampah ini dapat menjadi masalah, misalnya daun-daun kering di lingkungan pemukiman.
2. Sampah manusia adalah istilah yang biasa digunakan terhadap hasil dari pencernaan manusia, seperti *feses* dan *urin*. Sampah manusia dapat menjadi bahaya serius bagi kesehatan karena dapat digunakan sebagai *vector* (sarana perkembangan) penyakit yang disebabkan virus dan bakteri. Salah satu perkembangan utama pada *dialektika* manusia adalah pengurangan penularan penyakit melalui sampah manusia dengan cara hidup yang higienis dan sanitasi. Termasuk didalamnya adalah perkembangan teori penyaluran pipa (*plumbing*). Sampah manusia dapat dikurangi dan dipakai ulang misalnya melalui sistem *urionir* tanpa air.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Sampah rumah tangga merupakan sampah yang dihasilkan dari kegiatan di dalam rumah tangga, sampah yang dihasilkan oleh kebanyakan rumah tangga adalah, kertas dan plastik. Karakteristik dari sampah rumah tangga ini, sebagian besar adalah sampah organik yang mempunyai sifat lekas membusuk. Akumulasi dari limbah oleh rumah tangga adalah pengeluaran dalam tong sampah di depan setiap rumah atau di dalam kantong plastik, dalam keadaan bercampur.
4. Sampah konsumsi merupakan sampah yang dihasilkan oleh manusia dari proses penggunaan barang, dengan kata lain adalah sampah-sampah yang dibuang ke tempat sampah ini, sebagai contoh sampah konsumsi adalah tangkai/daun singkong, papaya, kangkung, bayam, kulit terong, wortel, ubi, singkong, kulit buah-buahan, sisa sayur/lauk pauk, dan sampah dari kebun. Jenis sampah ini merupakan sampah yang umum dipikirkan manusia, hal ini disebabkan kebiasaan manusia dalam proses kehidupan sehari-hari sebagai penghasil sampah. Meskipun demikian, jumlah sampah kategori ini pun masih jauh lebih kecil dibandingkan sampah-sampah yang dihasilkan proses pertambangan dan industri.
5. Sampah perkantoran adalah sampah yang berasal dari lingkungan perkantoran dan pusat perbelanjaan: yang sebagian besar sampah yang dihasilkan adalah sampah organik, kertas, tekstil, plastik dan logam.
6. Sampah daerah industri dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu sampah umum dan limbah berbahaya cair atau padat. Sampah umum, biasanya diletakkan di tempat sampah. Pensortiran sederhana biasanya dilakukan oleh industri, seperti plastik, kertas, dan bagian dari kulit biasanya disimpan dalam kontainer yang berbeda untuk dijual. Sedangkan limbah yang dianggap tidak berharga dibuang ditempat tersendiri.

Untuk limbah cair dan limbah berbahaya, jika perusahaan tidak memiliki fasilitas yang memadai atau *incinerator* atau fasilitas pengelolaan limbah cair, maka limbah harus dibawa ke fasilitas yang dimiliki oleh departemen pengelolaan sampah di pemerintah kota yang akan diproses lebih lanjut sebelum dibuang.



2.3.2 Karakteristik Sampah

Karakteristik yang dapat dilihat dari sampah adalah karakteristik fisika dan kimia. Karakteristik tersebut sangat bervariasi tergantung dari jenis sampahnya. Dalam karakteristik fisika yang paling penting adalah densitas, kadar air, kadar *volatil*, kadar abu, nilai kalor, dan distribusi ukuran. Dalam karakteristik kimia yang menggambarkan susunan kimia sampah tersebut yang terdiri dari unsur C,N,O,P,H,S, dsb [20].

2.4 Pengolahan Sampah

Menurut UU no 18 Tahun 2008 didefinisikan Pengelolaan sampah adalah kegiatan yang sistematis, menyeluruh, dan berkesinambungan yang meliputi pengurangan dan penanganan sampah. Semua sampah dapat dikelola baik secara *reduce*, *reuse* dan *recycle*. Tentunya mendesak pihak industri untuk menggunakan bahan kimia *recycle*, harganya menjadi mahal. metode *reduce* tidak akan mengurangi sampah melainkan hanya menunda siklusnya saja. Pengelolaan sampah pada dasarnya mencakup lima aspek. Lima aspek itu adalah mencegah pada sumbernya (*pollution prevention*), mengurangi jumlah sampah (*waste minimation*), mendaur ulang (*recycling*), mengolah yang tidak dapat didaur ulang (*treatment*) dan membuang (*disposal*). Untuk prinsip pertama hingga ketiga, berkaitan erat dengan kultur masyarakat sedangkan prinsip keempat dan kelima berkaitan dengan teknologi [6].

Model pengelolaan sampah di Indonesia ada dua macam, yaitu urugan dan tumpukan. Model pertama merupakan cara yang paling sederhana yaitu sampah dibuang di lembah atau cekungan tanpa memberikan perlakuan, yaitu untuk kota yang volume sampahnya tidak begitu besar. Sedangkan untuk model pengelolaan sampah dengan tumpukan dilengkapi dengan unit saluran air untuk buangan, pengelolaan air untuk buangan (*leachatte*) dan pembakaran akses gas metan (*flare*). Model seperti ini sudah memenuhi persyaratan lingkungan dan banyak diterapkan di kota-kota besar, namun sayang model tumpukan ini tidak lengkap tergantung dari kondisi keuangan dan kepedulian pejabat daerah setempat akan kesehatan lingkungan dan masyarakat [5].



2.4.1 Pengolahan sampah di Luar Negeri

Model pengelolaan sampah di luar negeri seperti yang dilakukan oleh negara-negara di Eropa, Australia dan Jepang. Mereka sedang bekerja ke arah suatu target yaitu pengurangan timbunan sampah sebanyak 75 persen, yaitu fokus pada 3R (*reduce, recycle* dan *reuse*). Pengelolaan sampah sudah dimulai di rumah tangga, yaitu dengan memisahkan sampah organik dan sampah anorganik, kantong sampah terbuat dari bahan yang dapat didaur ulang, warna kantong sampah dapat dibedakan antara sampah organik dan anorganik. Sampah organik dibawa oleh truk yang memiliki drum berputar dilengkapi pisau pencacah dan mikroba perombak bahan organik [5].

PLTSa di Amerika *Basic Energy* adalah perusahaan di Marco Island, Florida, yang memiliki lisensi penggunaan teknologi *boiler* BASIC yang diklaim telah digunakan di Amerika, Asia, Timur Tengah dan Eropa. Teknologi ini dapat memanfaatkan sampah mulai dari sampah rumah tangga, sampah medis hingga sampah industri, sebagai bahan bakar *boiler* yang dapat digunakan untuk menjalankan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Proyek terbaru *Basic Energy* terdapat di Nanhai, Cina yang selesai dibangun tahun 2002, dan di Shunde, Cina yang selesai dibangun tahun 2004. Ukuran pabrik yang dibangun di Shunde berkapasitas 600 ton per hari sampah rumah tangga, menggunakan dua sistem berkapasitas 300 ton per hari. Ongkos kapital untuk pembangunan pabrik pengolah sampah penghasil listrik (PLTSa) berukuran 1200 ton/hari diperkirakan mencapai 550 juta yuan (78,7 juta US\$), sehingga dapat diperkirakan bahwa untuk kapasitas 600 ton/hari, ongkos kapital yang diperlukan berkisar antara 40 hingga 50 juta US\$, hal ini berarti ongkos kapital per kW listrik yang dihasilkan (diperkirakan listrik yang dihasilkan 10 MW) adalah US\$ 4000–5000 per kw dengan komponen terbesar (hampir mencapai 50 persen) adalah sistem pembakar [6].

Teknologi dari *Keppel Seghers* berpusat di Belgia, namun demikian perusahaan ini telah mendirikan PLTSa di Cina, Korea, Italia, dan di negaranya sendiri Belgia. Teknologi mutakhir dari *Keppel Seghers* digunakan pada PLTSa di Tuas South Singapura. Data-data yang diperoleh pada plant ini adalah: sampah yang digunakan adalah Sampah Kota, dengan kandungan air sampah segar sebanyak 60 persen, *Pre-treatment* yang dilakukan sampah dibiarkan dan diaduk-aduk dalam bunker selama 3–5 hari. Perkiraan Nilai kalor setelah *pre-treatment* adalah 1000-1400 kkal/kg dengan output listrik yang dihasilkan sebesar 24 MW. Total nilai investasi yang dilakukan 570.000.000 Yuan, dengan temperatur pembakaran lebih



dari 850°C dan waktu *start up* : 20 jam, lindi yang dihasilkan : 20 persen dari kapasitas sampah. PLTSa di Cina dipelopori oleh dua perusahaan yaitu *Hangzhou Boiler* dan *Hangzhou New Century Energy Environmental Protection Engineering, Co. Ltd.* Sistem tungku pembakaran dirancang agar sampah teraduk-aduk pada tungku sambil terbakar pada temperatur 850-960°C, sampah dibiarkan pada temperatur tersebut selama lebih dari dua detik, hal ini dilakukan untuk menguraikan dioksin.

Pengelolaan sampah di Malaysia dengan timbunan, hal tersebut tidak jauh berbeda seperti yang dilakukan di Indonesia. Sementara pengelolaan sampah di Singapura memiliki manajemen yang rapi dan diolah dengan teknologi tinggi yang dimanfaatkan untuk membuat pulau. Singapura memiliki sistem pembakaran sampah dengan teknologi sistem kontrol digital di lokasi tertutup. Dengan pembakaran tersebut, diperoleh panas untuk menggerakkan turbin dan pembangkit listrik. Tempat pembakaran hanya mengkonsumsi 20 persen dari energi listrik yang dihasilkan dan sisanya 80 persen di jual [5].

2.4.2 Pengolahan Sampah di Indonesia

Kota DKI Jakarta memiliki lokasi TPA di daerah Bantar Gebang- Bekasi. Model pengelolaan sampah dengan teknik *Activated. sludge system* (danau yang diberi aerasi dengan pengaduk bertenaga besar). Dalam pelaksanaannya Pemda Jakarta membayar *Royalty fee* kepada Pemda Bekasi Rp 60 juta/ton sampah. Tujuan ASC agar terhindar dari bau, pemandangan yang tidak sedap, dan kemunculan penyakit kulit dan para-paru. Namun, pada tahun 2005 penduduk sekitar TPA terserang penyakit dermatitis sebanyak 2.710 orang. Pemisahan material organik dilakukan oleh pemulung terbukti efektif mengatasi permasalahan sampah serta menjadi sentral ekonomi. Permasalahan lain adalah volume sampah semakin meningkat dan tidak bisa ditampung oleh areal yang ada. Bandung memiliki lokasi di banyak TPA, seperti Beberapa daerah sempat dijadikan TPA (yaitu Jelegong, Cicabe, Cikubang, dan yang terakhir Sarimukti), namun semuanya hanya bersifat sementara karena keterbatasan kapasitas lahan. Pada awalnya setelah tragedi longsor sampah di TPA Leuwigajah pada tahun 2004, Pemkot Bandung sudah merencanakan pengelolaan sampah dengan cara pembakaran untuk menghasilkan listrik, namun karena permasalahan tempat yang masih mendapat penolakan dari masyarakat Gedebage, proyek tersebut di hibahkan ke Pemkab Bandung [5]. PLTSa merupakan proses pembakaran pada tungku pemanas air dengan tujuan



memanfaatkan uap air untuk menggerakkan turbin, Teknologi PLTSa mirip dengan teknologi PLTU pada umumnya, perbedaan hanya pada sistem tungku pembakarannya. Berdasarkan studi yang dilakukan Tim LPPM ITB, PLTSa dapat dikembangkan di Indonesia, dengan alasan sebagai berikut:

1. Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (WTE) dengan teknologi yang moderen telah banyak digunakan di negara-negara Asia Tenggara, Asia, Eropa, dan Amerika. Sampah Kota Bogor memiliki karakter yang relatif sama dengan sampah Kota Bandung sehingga sampah tersebut dapat dijadikan bahan bakar untuk pembangkit listrik (PLTSa).
2. Teknologi PLTSa yang digunakan pada umumnya sudah dilengkapi dengan pengolahan emisi gas buang, dan limbah lainnya beserta sistem monitoringnya, sehingga tidak mencemari lingkungan sekitarnya. Sistem kendali pembakaran dan sistem pengolahan gas buang yang digunakan di PLTSa menghilangkan secara signifikan dampak-dampak buruk terhadap lingkungan. Oleh sebab itu PLTSa berikutnya bisa diletakan di daerah kota dekat dengan sumber sampahnya seperti yang ada dilakukan di Singapura, kota-kota di Cina dan Eropa.
3. Agar tidak mencemari lingkungannya emisi dan limbah dari PLTSa harus memenuhi baku mutu emisi dan *effluent*. Apabila belum ada ketentuan dari Pemerintah Indonesia mengenai hal tersebut, maka dapat digunakan baku mutu yang digunakan di Cina, Amerika atau Eropa.
4. Teknologi PLTSa yang tersedia mempunyai Teknologi yang dapat membakar sampah yang berkadar air tinggi (70-80 persen), dan benilai kalor rendah (800 kkal/kg), pada suhu antara 850°C sampai 900°C sesuai dengan yang persyaratan untuk memusnahkan gas beracun seperti dioksin.
5. Sampah kota Bogor yang dapat ditangani oleh DLHK Kota Bogor dan dapat dimanfaatkan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kota (PLTSa) adalah sebanyak 250 ton/hari. Jumlah tersebut merupakan jumlah sampah yang telah dikurangi dengan sampah yang diambil oleh pemulung, pakan ternak dan industri kompos (jumlah netto).
6. Proses pemisahan dan pengambilan beberapa komponen sampah sudah dilakukan oleh pemulung sejak ditingkat rumah, di tingkat RW dan di TPS. Sebagian besar



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

jenis plastik, kertas, logam, pipa PVC dan bahan-bahan lain yang masih mempunyai nilai ekonomi akan tereliminasi dari sampah yang akan digunakan di PLTSa. Dengan demikian sebagian besar sampah yang akan digunakan di PLTSa adalah sampah organik dengan potensi racun yang relatif lebih rendah.

7. Pengaturan jenis komponen yang dikirim ke PLTSa dapat lebih dikendalikan dengan meningkatkan aktivitas 3 R di tingkat RW dan TPS, sehingga sampah yang dikirim ke PLTSa mempunyai potensi racun yang lebih rendah lagi. Hasil pembakaran dapat memenuhi persyaratan emisi gas buang yang aman/memenuhi standar emisi Indonesia. Berdasarkan hal-hal tersebut secara umum dari tinjauan Teknologi dapat disimpulkan Teknologi PLTSa adalah layak untuk digunakan sebagai pemusnah sampah kota Bogor dan kota-kota lainnya di Indonesia.

Kota Surabaya memiliki TPA di daerah Sukolilo dan Sidoharjo, dalam pengelolaan sampahnya dinas kebersihan dari Pemkot Surabaya memiliki unit *Incinerator* (mesin pembakar dari Inggris). Pada kenyataannya di TPA Sukolilo, aplikasi *Incinerator* kurang sesuai karena kadar air sampah di Indonesia sangat tinggi (lebih dari 80 persen). Untuk TPA Sidoharjo, dalam pengelolaannya di TPA tersebut Salinitasnya telah menghambat kerja aktivitas kerja mikroba, air buangan dapat mengotori/merusak perairan terdekat. Pengelolaan sampah untuk kota Solo, sampah yang terkumpul di alokasikan ke TPA Mojosongo yang memiliki model tumpukan, sampah yang telah menjadi kompos dibagi-bagikan secara gratis kepada masyarakat. Hewan ternak yang dilepas di areal TPA, pada tahun 1995 mencapai 1000 ekor. Di setiap pagi puluhan truk-truk parkir di sepanjang TPA untuk mengangkut kaleng, aluminium, besi, plastik dan kertas/karton. Yogyakarta memiliki tumpukan yang dilengkapi dengan unit pengolahan sampah masinal (mesin) yang dikelola oleh Pemda setempat. Bogor memiliki TPA yang berlokasi di Desa Galuga, model yang dipilih adalah dengan tumpukan. Curah hujan yang tinggi, menyebabkan pembusukan berjalan lambat *Incinerator* dari Prancis mengalami kegagalan seperti di Surabaya. Untuk kota seperti Kuningan, Sumedang, Garut, Ciamis dan Tasikmalaya sistem pengelolaan sampahnya hanya dengan urugan, dimana sampah yang terkumpul di buang ke lembah [5].



2.5 Teknologi Pengolahan Sampah Menjadi Tenaga Listrik (PLTSa)

Ada beberapa macam teknologi pemanfaatan sampah menjadi energi listrik diantaranya yang banyak digunakan adalah[31] :

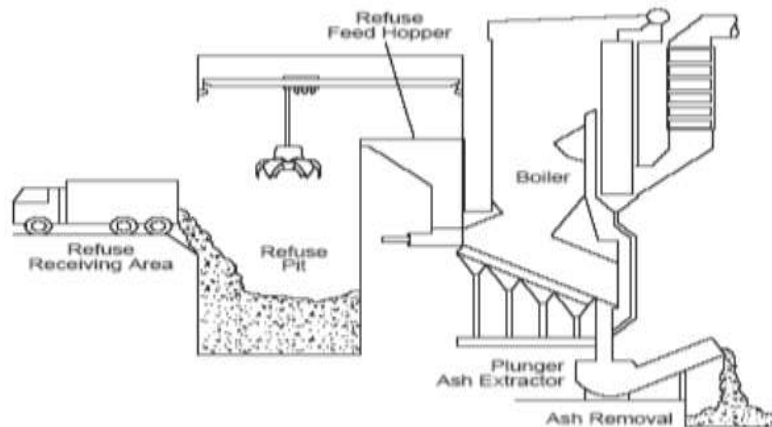
- a. Pembakaran
- b. Gasifikasi
- c. Biogas

Ketiga teknologi ini berada dalam proses pengkonversian sampah menjadi energi dan cara penanganan sampahnya.

2.5.1 Proses Pembakaran

Untuk teknologi pembakaran sampah diubah menjadi panas, yang digunakan untuk memanaskan air dalam boiler untuk menghasilkan uap. Uap dapat didistribusikan untuk di jual atau dapat dikonversi menjadi listrik melalui turbin uap. Efisiensi pada teknologi *thermal* mencapai 18%-27% (saat menghasilkan listrik) untuk pembangkit dengan ukuran 25.000 sapaai dengan 600.00 ton pertahun. Teknologi ini juga akan memproduksi residu sampah berupa abu,abu boiler, abu terbang, dan residu *scrubber droprasi* pembersihan cerobong gas[31].

Pengoprasian PLTSa menggunakan teknologi *thermal* harus dijaga dalam suhu operasi kritis. Apabila suhu rendah, senyawa beracun oganik *volatile* (VOC) yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan tidak terurai sempurna, serta emisi gas pembangkit akan melanggar aturan standar keamanan nasional. Untuk mencapai dan mempertimbangkan suhu operasi minimum yang aman, di saat volume aliran sampah mungkin rendah atau memiliki kadar air yang tinggi, bahan bakar tambahan (biasanya minyak) mungkin diperlukan[31].



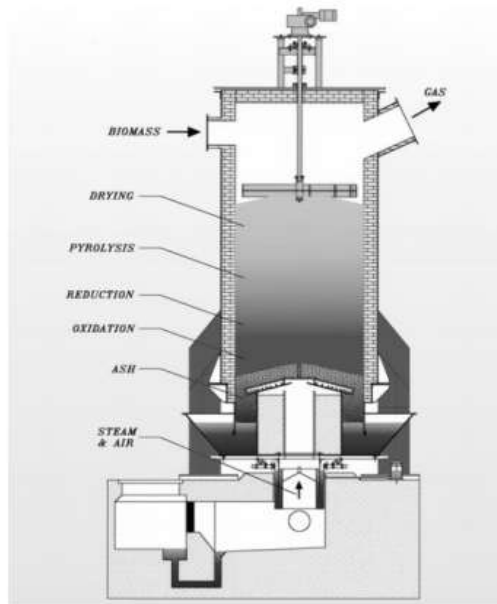
Gambar 2.1 : Teknologi Pembakaran Langsung [31]



2.5.2 Teknologi Gasifikasi

Gasifikasi prinsipnya adalah mengkonversi sampah menjadi *syngas*-gas yang utamanya terdiri atas *hydrogen* dan karbon dioksida dengan metode kekurangan udara. Gas ini kemudian dapat langsung dimanfaatkan sebagai penggerak turbin gas, atau dimanfaatkan sebagai bahan bakar, setelah dibersihkan dari *hydrogen sulfide* dan *ammonia*, pada turbin uap. Proses gasifikasi ini menggunakan komponen utama yang disebut *gasifier*[31].

Perbedaan yang mendasar dengan sistem pembakaran langsung adalah pada metode ini sampah yang telah *disolidifikasi* dan dikeringan dimasukkan ke dalam *gasifier* untuk mengalami proses perubahan menjadi gas tanpa melalui proses pembakaran (*pyrolysis*). Hal ini dimungkinkan karena jumlah udara dalam proses *gasifier* diatur sedemikian rupa sehingga tidak sampai terjadi pembakaran. Proses pembakaran hanya terjadi pada tahap akhir dalam *gasifier* (oksidasi)[31].



Gambar 2.2 : Teknologi Gasifikasi [31]

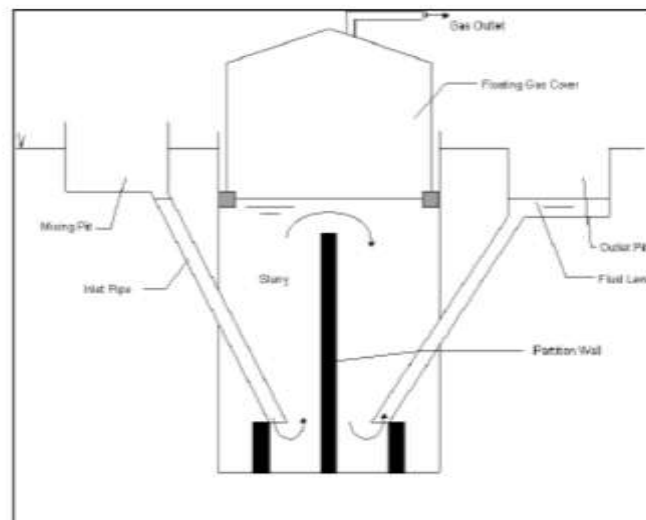
Karena sifatnya diatas, poses gasifikasi ini memerlukan pemrosesan sampah terlebih dahulu agar menjadi lebih homogen, sehingga perilaku gas yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.5.3 Biogas

Biogas dihasilkan dari proses *anaerobic fermentation*. Proses ini merupakan proses biologis dimana zat-zat organik pada sampah diuraikan oleh bakteri mikrobiologi. Proses penguraian ini kemudian akan langsung menghasilkan gas-gas yang mudah terbakar seperti gas metan (CH_4). Gas metan ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar dalam motor bakar.

Karena prosesnya merupakan biologis yang sangat tergantung pada bakteri, proses ini memerlukan waktu yang lama dan hanya dapat menghasilkan listrik dengan skala yang kecil. Proses yang diperlukan sekitar 4-6 minggu dengan 1 m^3 menghasilkan 1,25 kWh, selain itu proses biogas ini hanya dapat diterapkan untuk sampah organik, sehingga lebih menguntungkan jika dimanfaatkan pada sampah pertanian dan peternakan[31].



Gambar 2.3 : Teknologi Biogas [31]

2.6 Usulan Teknologi yang Digunakan

Berdasarkan uraian diatas, maka dalam memilih teknologi yang tepat yang perlu dipertimbangkan keuntungan dan kerugian masing-masing teknologi. Pertimbangan pemilihan teknologi ini juga disesuaikan dengan kondisi persampahan Kota Pekanbaru yang memerlukan penanganan secara cepat[31].

Dari table perbandingan 3.1, jika dilihat dari sisi energi yang dihasilkan dan produksi reduksi sampah maka teknologi pembakaran memiliki poin lebih daripada kedua proses yang lain terutama biologis. Sedangkan dari segi pemrosesan sampah maka pembakaran memiliki



keunggulan dibandingkan gasifikasi, selain itu teknologi pembakaran lebih sederhana dan sudah terbukti secara skala komersial. Selain itu, kondisi sampah kota yang memiliki kadar zat terbang relatif tinggi dapat mengakibatkan perilaku gas yang dihasilkan tidak sesuai dengan yang diharapkan jika menggunakan teknologi gasifikasi

Berdasarkan alasan-alasan diatas maka teknologi yang dipilih sebagai solusi atas permasalahan sampah di kota pekanbaru dan krisis energi adalah teknologi pembakaran. Teknologi pembakaran ini selanjutnya akan dibahas lebih rinci lagi.

Tabel 2.1 : Perbandingan Teknologi PLTSa [31]

	Pembakaran langsung	Gasifikasi	Biogas
Proses Konversi	Termal, cepat	Termal, Cepat	Biologis, pelan
Reduksi Sampah	85-90%	80-85%	50-70%
Daya yang dihasilkan	Besar	Menengah	Kecil
Jenis Sampah	Semua yang dapat terbakar	Semua yang dapat terbakar	Organik
Pemrosesan Sampah	Minimal, RDF	RDF	Sorting
Keperluan Lahan	Sedang	Sedang	Besar
Limbah berbahaya	Perlu Kontrol yang ketat	Relatif bersih	Aman
Biaya investasi	Besar	Besar	Kecil

2.7 Teknologi Pembakaran

Proses pengolahan sampah menjadi energi ini melalui beberapa proses dan peralatan. Karena teknologi yang telah terbukti skala komersial dan telah mengalami berbagai

perencanaan, teknologi ini juga memiliki berbagai variasi komponen, terutama teknologi pembakarannya.

2.7.1 Gambaran Umum Proses

Gambaran umum proses teknologi pembakaran ini dapat dilihat dari gambar 3.4 [31]. Adapun tahapan proses dimulai dari :

a. Pemilahan dan Penyimpanan Sampah

Limbah sampah kota dikumpulkan pada suatu tempat yang dinamakan Tempat Pengolahan Akhir (TPA). Lalu sampah dipilah sesuai dengan yang dibutuhkan dengan PLTSa. Sampah ini kemudian disimpan dalam bunker yang menggunakan teknologi RDF (*Refused Derived Fuel*). Teknologi RDF ini berguna dalam mengubah limbah sampah kota menjadi limbah padat sehingga mempunyai nilai kalor yang tinggi. Luas tempat pembuangan dan penyimpanan sampah ini merupakan fungsi dari laju truk yang masuk ke PLTSa dan kapasitas laju sampah yang akan diproses pada PLTSa. Kapasitas ruang penyimpanan ini biasanya didesain untuk menampung sampah 2 hari. Untuk mencegah bau keluar dari PLTSa, udara ditarik ke dalam tungku pembakaran sebagai campuran pembakaran. Pemasukan sampah ke ruang pembakaran menggunakan *crane* Penyimpanan dilakukan hingga kadar air tinggal 45% yang kemudian dilanjutkan dengan pembakaran.

b. Pembakaran Sampah

Tungku PLTSa pada awal pengoperasiannya akan menggunakan bahan bakar minyak. Setelah suhu mencapai titik panas yang dibutuhkan, sampah akan dimasukkan kedalam tungku pembakaran (*incinerator*) yang berjalan 7800 jam. Hasil pembakaran limbah sampah akan menghasilkan gas-gas yang relatif berbahaya, maka diperlukan fasilitas pengolahan udara agar udara yang dibuang keluar memenuhi standar emisi udara. Fasilitas ini berupa penginjeksian *amonia* untuk mengontrol NO_x, *dry scrubber* untuk mengontrol SO₂, dan *baghouse* sebagai penyaring udara. Untuk menjamin aliran udara yang melewati fasilitas pengolahan udara, dipasang *fan* yang juga dapat berfungsi meniupkan udara untuk

pembakaran di ruang pembakaran. Udara yang telah melewati proses penyaringan tadi kemudian dibuang melalui cerobong .

c.

Pemanasan Boiler

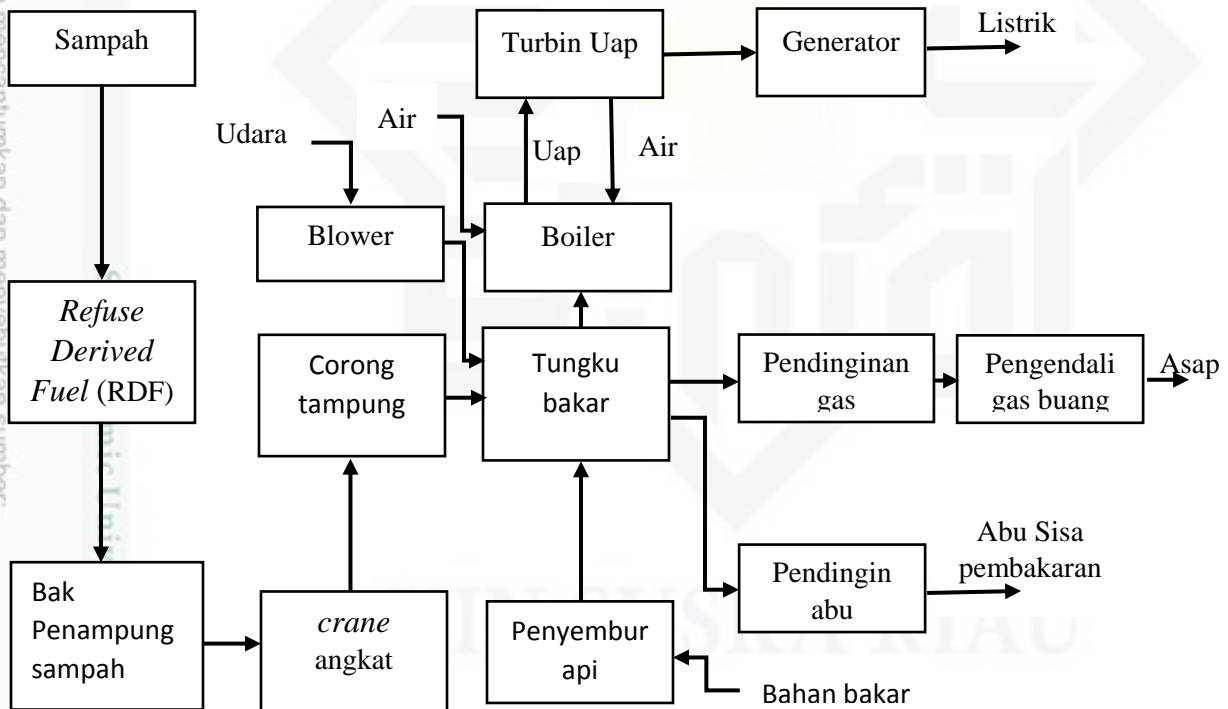
Panas yang dipakai dalam memanaskan boiler berasal dari pembakaran sampah. Panas ini akan memanaskan boiler dan mengubah air dalam boiler menjadi uap.

d.

Penggerakan Turbin dan Generator Uap yang tercipta akan disalurkan ke turbin uap sehingga turbin akan berputar, turbin dihubungkan ke generator sehingga generator juga akan berputar. Generator yang berputar akan menghasilkan tenaga listrik. Proses ini terjadi pada sistem pemanfaatan uap.

e.

Selain menghasilkan panas dan gas, pembakaran sampah ini juga menyisakan abu dan material-material yang tidak terbakar. Abu dan material-material yang tidak terbakar ini jatuh dari *grate* ke *quench tank* untuk kemudian dibuang ke *landfill* atau dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan batako,



Gambar 2.4 : Flowcart Proses PLTSa[31]

2.8 Peralatan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa)

2.8.1 *Refuse Derived Fuel* (RDF)

Refuse Derived Fuel (RDF) adalah hasil proses pemisahan limbah padat antara fraksi sampah mudah terbakar dan tidak mudah terbakar seperti metal dan kaca[22]. Produksi RDF merupakan bagian dari sistem pengolahan *thermal*, yang bertujuan untuk *valorize* bagian dari aliran limbah dengan memulihkan konten energi. Pembakaran RDF, dapat terjadi pada tempat yang sama atau RDF dapat diangkat untuk pembakaran di tempat yang lain.

Produk dari hasil pengolahan *Refuse Derived Fuel* (RDF) merupakan bahan bakar yang diciptakan dari hasil pemrosesan sampah untuk menjadi bahan bakar atau bahan baku yang memiliki kualitas yang konsisten. Biasanya sampah dipilah-pilah untuk mendapatkan sampah yang mudah terbakar seperti plastik, sampah mudah terurai dll, yang kemudian dikeringkan dan kemudian dicacah untuk menaikkan nilai kalornya [30].

Alasan lebih lanjut untuk mempertimbangkan pemisahan pemilihan RDF dari *thermal* adalah bahwa proses tidak hanya menghasilkan bahan bakar, tetapi juga dapat menghasilkan fraksi organik, yang dapat membentuk bahan baku untuk pengolahan biologis. Akibatnya, dalam beberapa kasus, proses penyortiran RDF terjadi dalam kombinasi dengan pengolahan biologis.



a. RDF halus

b. RDF pelet

Gambar 2.5 : Bentuk *Refuse Derived Fuel* (RDF) [30]



2.8.1.1 Proses Pengolahan RDF

Umumnya proses pemilihan *Refuse Derived Fuel* (RDF) terdiri atas [33].

a. Penyimpanan sampah (*Waste Reception and Storage*)

Sampah yang datang dari proses pengumpulan dipisahkan dari material-material yang tidak diinginkan.

b. Pengayakan sampah (*Waste Liberation and Screening*)

Pada proses ini material yang terlalu halus dan material yang memiliki ukuran besar (500mm) dipisahkan.

c. Penghalusan bahan baku (*Fule Tefining*)

Pada proses ini dilakukan reduksi ukuran, klasifikasi dan pemisahan magnetis. Reduksi ukuran menggunakan alat pencacah (*shredder*) atau *hammer mill* untuk membuat material menjadi fraksi yang ringan dan padat. Proses klasifikasi (pemisahan berat jenis) diperlukan untuk memisahkan fraksi berat (metal, plastic tebal) dari fraksi ringan yang dapat dibakar (kertas, plastik film).

2.8.1.2 Jenis-jenis RDF

Terdapat tujuh tipe RDF yang berbeda yang diklasifikasikan oleh *America Society for testing and material* (ASTM) [33].

a. RDF-1

RDF-1 adalah MSW yang digunakan sebagai bahan bakar tanpa sampah yang berkurang besar dan tebal

b. RDF-2

RDF-2 adalah MSW yang diproses menjadi partikel kasar dengan atau tanpa logam besi (*ferrous metal*). Subkategori dari RDF-2 merupakan serpihan RDF yang kemudian dipisahkan 95% berat sendiri dapat melewati saringan mesh 6 inch² dan dipadatkan sekitar 300 kg/m³, (disebut juga sebagai *coarse RDF* atau *c-RDF*)

c. RDF-3

RDF-3 merupakan bahan bakar yang di cacah yang berasal dari MSW dan diproses untuk memisahkan logam, kaca dan bahan anorganik lainnya, dengan ukuran partikel 95% dari berat sendiri yang dapat melewati saringan berukuran 2 inch persei (disebut juga sebagai *Fluff RDF*)



d. RDF-4

RDF-4 merupakan fraksi sampah yang dapat dibakar (*combustible*) yang diolah menjadi bentuk serbuk, 95% berat sendiri dapat melalui saringan 10 *mesh* (disebut juga sebagai *dust* RDF atau p-RDF)

e. RDF-5

RDF-5 dihasilkan dari fraksi sampah yang dapat dibakar yang kemudian dipadatkan menjadi 600 kg/m³ menjadi bentuk *pellet*, *Islags*, *cubettes*, briket dsb (disebut juga dengan *desified* RDF atau d-RDF).

f. RDF-6

RDF-6 adalah RDF dalam bentuk cair atau *liquid RDF*

g. RDF-7

RDF-7 adalah RDF dalam bentuk gas.

2.8.1.3 Jenis RDF yang Dipilih

Berdasarkan uraian jenis-jenis RDF diatas, maka yang paling sesuai dengan sampah kota Pekanbaru adalah dengan menjadikan sampah menjadi briket atau disebut juga dengan *desified* RDF (RDF-5). Jenis ini dipilih karena dengan sampah kota Pekanbaru yang memiliki kalor rendah dan kadar air yang tinggi, diharapkan akan menaikkan nilai kalor dari sampah dan mengurangi kadar air pada sampah.

2.8.1.4 Nilai Kalor RDF

Nilai kalor (*heting value*) adalah sebuah nilai yang menunjukkan kandungan energi berguna di dalam bahan bakar. Nilai kalor biasanya kalor yang di lepaskan dalam pembakaran sempurna. Jenis dan nilai kalor sampah yang dapat diolah menjadi RDF adalah sebagai berikut.



Tabel 2.2 Nilai kalor RDF [33]

Komponen Sampah	Nilai Kalor (Kcal/kg)
Makanan	1393
Kertas	2887
Tanaman	1393,4
Kayu	1393
Tekstil	4000
Karet/Kulit	4000
Plastik	7738

2.8.2 Bak Penampungan Sampah (Bunker)

Perhitungan prediksi jumlah potensi sampah ialah dengan menggunakan persamaan geometrik sebagai berikut

$$Px(\text{tahun}) = Pa (1 + r)^x \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

- Px = Jumlah sampah pada tahun x proyeksi.
- Pa = Jumlah sampah pada tahun awal proyeksi.
- R = Rata-rata pertumbuhan pertahun (%).
- x = Selang waktu proyeksi (tahun).

Ukuran bunker untuk pengolahan sampah bervariasi sesuai dengan volume sampah yang akan diolah, untuk menentukan ukuran bunker harus di hitung berapa volume sampah, volume sampah tersebut dapat di hitung dengan teori densitas sampah, berikut ini persamaan densitas[32].

$$\rho = \frac{m}{v} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

- ρ = Densitas Sampah (kg/m³)
- m = Berat Sampah
- v = Volume sampah (m³)



Hak cipta dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Dari beberapa penelitian rata-rata densitas sampah baru sebesar 200 kg/m³ dan sampah lama sebesar 300 kg/m³. Dari persamaan diatas diperoleh nilai volume sampah yang akan digunakan untuk menghitung luas bunker. Luas bunker dapat dihitung dengan persamaan[32]

$$A = \frac{v}{t} \dots \dots \dots (2.2)$$

- Dimana :
- V = Volume sampah (m³)
 - A = Luas bunker (m²)
 - t = Tingg bunker (m), diasumskan 3 m

berdasarkan perhitungan volume bunker, maka dapat ditentukan luas lahan sesuai dengan persamaan berikut[31]

$$V_{\text{bunker}} = A_{\text{bunker}} \times t$$

- Dimana :
- A = Luas bunker (m²)
 - n = Jumlah bunker

$$A_T = A \times n \dots \dots \dots (2.3)$$

- Dimana :
- A_T = Luas lahan yang di butuhkan (m²)
 - A = Luas bunker (m²)
 - n = Jumlah bunker

2.8.3 Peralatan Tungku Bakar (Incenerator)

Pengklasifikasi peralatan tungku bakar tergantung pada pemanfaatan dan sistem pengumpulannya. Ada dua tipe tungku bakar apabila ditinjau dari pemanfaatannya yaitu sebagai:

- a. Pembakar sampah tanpa memanfaatkan panas pembakaran
- b. Pembakar sampah dengan memanfaatkan dan mengkonversikan panas pembakaran

Konstruksi dari kedua tipe diatas berlainan demikian juga biaya investasi. Untuk konstruksi *incenerator* tanpa memanfaatkan panas pembakaran biasanya digunakan untuk pembakaran sampah dengan skala kecil sekitar 0.2 – 1 ton/jam. Kapasitas *incenerator* dengan memanfaatkan panas pembakaran mencapai 40 ton/jam. Pada umumnya pemakaian



incenerator tidak hanya untuk pemusnah sampah saja tapi memanfaatkan juga panas gas bakar dari ruang bakar[23].

2.8.3.1 Fasilitas pengumpulan dan perlengkapannya

Fasilitas ini yang paling berperan untuk kelangsungan operasional unit, karena saat sampah akan dibakar perlu dilakukan pemilahan jenis sampah yang akan masuk keruang bakar serta kondisi yang disyaratkan dalam desain *incenerator*. Kegiatan yang dilakukan dalam proses ini antara lain [23]

1. Pemilahan dan pemisahan sampah dari komponen yang tidak dapat dibakar
2. Penimbangan sampah umpan
3. Pengukuran atau analisa komposisi
4. Penimbunan pada bunker atau *hopper*

2.8.3.2 Pemilihan Tungku Pembakaran Sampah

Ruang pembakar sampah ini didesain sedemikian rupa agar dapat digunakan sebagai proses konversi panas gas pembakaran ke pipa air sehingga membangkitkan uap yang nantinya akan membangkitkan listrik melalui konversi ke turbin dan generator. Ada beberapa macam teknologi tungku pembakaran sampah yang telah terbukti secara skala komersial :

1. *Waterwall Furnace*
2. *Refractory Furnace*
3. *Rotary Kiln Furnace*
4. *Water Cooled Rotary Combustor Furnace*
5. *Controlled Air Furnace*

1. *Waterwall Furnance*

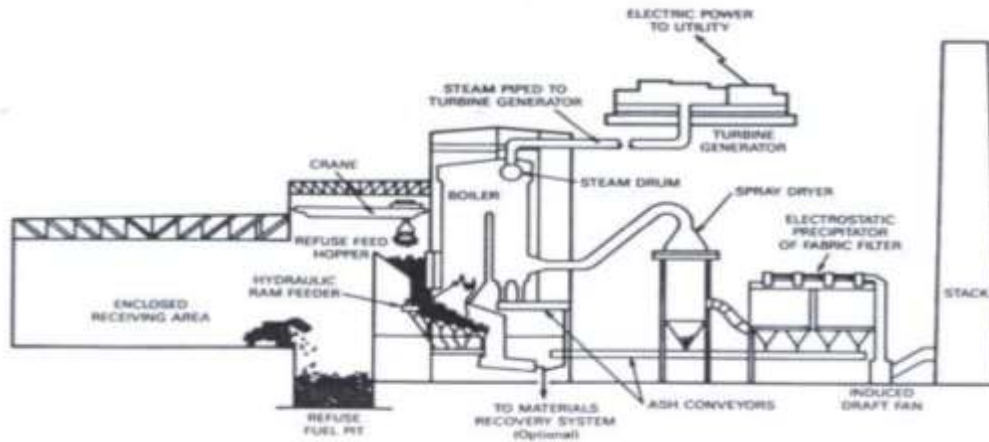
Sampah padat dibakar diatas pembakaran di dalam tungku dengan dinding yang dilengkapi pipa-pipa berisi air. Panas dari sampah yang terbakar dan gas pembakaran dipindahkan ke air pada dinding tungku yang akan menghasilkan uap. Uap ini akan digunakan untuk menggerakkan turbin kemudian menghasilkan energi listrik atau digunakan untuk proses energi. Tungku di dinding air ini memiliki efisiensi pemanfaatan panas paling tinggi diantara teknologi pembakaran langsung lainnya[31].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.6 : *Waterwall furnace* [31]

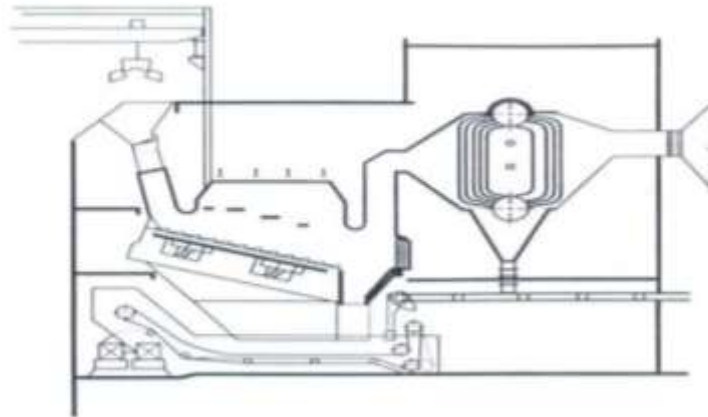
Ketersediaan udara lebih sebesar 80 % hingga 100 % diperlukan untuk memungkinkan terjadinya pembakaran lengkap dan mencegah terjadinya korosi karena pengaruh gas asam yang dihasilkan dari proses pembakaran sampah padat. Kapasitas minimum tungku ini adalah 200 ton/hari, kapasitas maksimumnya 3150 ton/hari.

Tetapi karena penyerapan panas yang tinggi pada tungku ini, maka dikhawatirkan suhu pembakaran dengan bahan bakar menggunakan sampah kota yang mensyaratkan agar temperatur pembakaran 800-1000°C tidak tercapai.

2. *Refractory Furnace*

Pada tungku jenis ini, sampah padat dibakar pada tungku dengan *refractory-line*. Gas hasil pembakaran sampah di dalam tungku akan mengalir melalui penghasil uap tipe pertukaran panas konveksi.

Dinding tungku jenis ini terbuat dari bahan yang mampu menahan panas. Tidak terjadi pemanfaatan/pengembalian panas di dalam tungku. Gas atau panas yang dihasilkan oleh pembakaran akan mengalir melewati penghasil uap tipe konveksi.

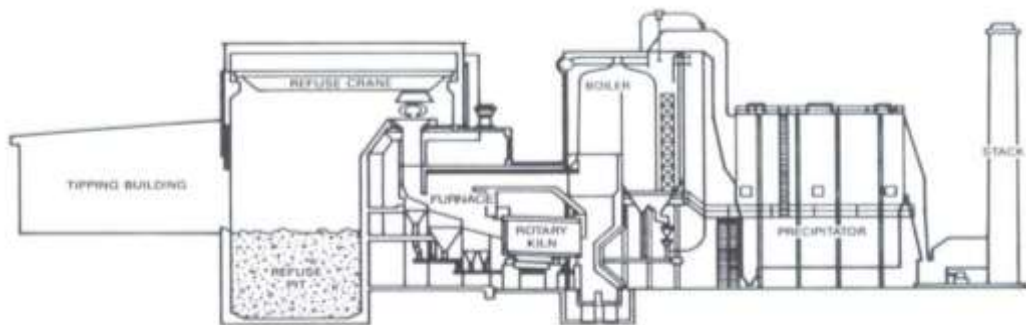


Gambar 2.7 : *Refractory furnace* [31]

Pada tungku jenis ini tidak menggunakan perpindahan radian dari sampah yang terbakar dan gas hasil pembakaran. Tungku *refraktori* ini memerlukan suplay udara yang lebih banyak dari pada tungku dinding air. Untuk menghindari terjadinya *slagging*, temperatur di dalam tungku harus dijaga tidak melebihi 1800° F. Boiler konveksi berada pada bagian akhir dari tungku. Karena boiler konveksi yang berada di bagian akhir dari tungku maka tungku ini relatif lebih aman dari gas hasil pembakaran sampah yang dapat menimbulkan korosi pada pipa uap.

3. *Rotary Kiln Furnace*

Tungku jenis ini merupakan salah satu dari tungku *refraktori*. Sampah padat dibakar di dalam ruang bakar dimana saat bersamaan sampah tersebut dicampur dengan menggunakan mekanisme guncangan. Terdapat dua bagian ruang bakar. Pembakaran sampah dan gas hasil pembakaran yang lengkap terjadi didalam ruang bakar ke dua[31].



Gambar 2.8 : *Rotary Kiln Furnace* [31]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber;

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

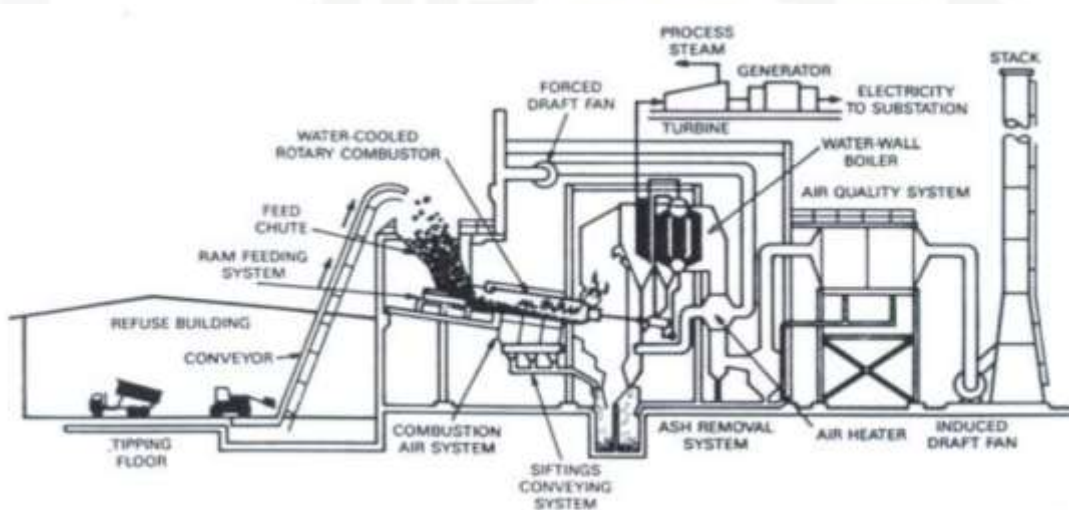
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Pada tungku tipe ini terdapat pengering sampah dan penyala awal sebelum masuk ke ruang bakar utama yang berfungsi meningkatkan tingkat pembakaran bahan bakar. Pertimbangan utama dalam perancangan tungku ini terutama adalah pada sistem *grate* berputarnya. *Grate* berputar ini menyediakan pembakaran karbon yang lebih baik untuk jenis sampah yang komposisinya bervariasi.

4. *Water-Cooled Rotary Combustor Furnace*

Tungku jenis ini merupakan kombinasi dari tungku dinding air dan tungku berputar (*Rotary kiln furnace*). Sampah padat dibakar di dalam ruang bakar dimana pada saat bersamaan sampah tersebut dicampur dengan menggunakan mekanisme guncangan. Dinding dari ruang bakar dilengkapi dengan saluran-saluran yang berisi air. Uap dihasilkan pada dinding ruang bakar dan juga melalui bagian konveksi boiler[31].



Gambar 2.9 : *Water-Cooled Rotary Combustor Furnace* [31]

Putaran tungku akan menyebabkan sampah yang terdapat didalamnya akan teraduk pada sumbu geraknya. Pembakaran yang terjadi di dalam tungku terbagi ke dalam empat tahap. Tahap pertama dan kedua berfungsi untuk mengeringkan dan menyalakan sampah. tahap tiga dan empat merupakan bagian yang paling panas dimana pembakaran primer terjadi. Temperatur di dalamnya mencapai 1000°C. gerak berputar dari tungku menghasilkan *turbulensi* aliran udara sehingga udara yang diperlukan untuk proses pembakaran jumlahnya tidak banyak.



Setelah 30 menit berada di dalam pembakar, abu dan sisa sampah yang belum terbakar akan dimasuk kedalam pembakar lanjutan dimana sisa bahan bakar tadi akan dibakar lagi.

Kapasitas minimum tungku ini adalah 48 ton/hari, kapasitas maksimumnya 2.688 ton/hari. Tungku putar ini akan berputar dengan kecepatan 5 hingga 20 putaran per jam. Kemampuan tungku jenis ini di dalam membakar sampah dengan nilai kalor yang rendah dan kandungan uap air yang tinggi lebih bagus apabila dibandingkan dengan tungku *waterwall*.

5. *Controlled Air Furnace*

Tungku jenis ini merupakan salah satu pengembangan dari tungku tipe *refraktori*. Tungku jenis ini sesuai untuk unit-unit pembakaran kecil atau dalam tipe modular. Tungku ini memiliki dua buah ruang bakar. Suplai udara yang banyak pada ruang bakar pertama berfungsi untuk mendapatkan pembakaran lengkap.

Ruang bakar kedua menggunakan udara jumlah yang kecil dengan tujuan untuk memungkinkan terjadinya proses *pirolisis*. Pada ruang bakar kedua ini akan dilakukan penambahan bahan bakar sehingga dapat terjadi pembakaran lengkap gas yang terbakar.

2.8.3.3 Tungku yang Dipilih

Berdasarkan uraian-uraian diatas mengenai teknologi pembakaran sampah, maka yang paling sesuai dengan sampah kota Pekanbaru adalah tungku *refractory* atau variannya. Tungku ini dipilih karena dengan sampah kota Pekanbaru yang memiliki kalor rendah dan kadar air yang tinggi, diharapkan temperatur pembakaran di dalam tungku dapat melebihi 800°C, tungku ini juga diharapkan agar temperatur tidak melebihi 1000°C. temperatur pembakaran di bawah 800°C dapat menimbulkan dioksin yang merupakan *karsinogen*, sedangkan temperatur diatas 1000°C dapat memunculkan gas NO_x. 800°C

2.8.4 Pendinginan Gas

Panas yang terjadi karena proses pembakaran dikonversikan ke peralatan / pipa penukar panas sehingga uap akan terbangkitkan dan temperatur gas bakar akan turun. Sebelum gas dibuang keluar, maka ada unit penukar panas yang akan menyerap panas dari gas tersebut yaitu pemanas awal air pengisian boiler. Dari temperatur gas buang 800 °C – 900°C, dapat



diturunkan dengan sistem pendinginan ini hingga 300 °C – 450 °C dan melalui penukar panas untuk pemanasan awal udara temperatur gas buang dapat diturunkan sampai 200 °C yang akan dilepas ke udara melalui cerobong. [23].

2.8.5 Pengendali Gas Buang

Untuk mengatasi pencemaran lingkungan akibat gas buang sisa pembakaran dan partikel abu dari pembakaran sampah maka *incenerator* dilengkapi dengan peralatan pengumpul abu (*dust collector*) dan peralatan pereduksi nitrogen oksida atau sulfur oksida [23].

2.8.6 Pembangkit Daya

Untuk mengkonversikan energi uap menjadi energi listrik, maka peralatan pengkonversi seperti boiler, turbin uap dan generator di instalasi pada sisi pemanfaatan uap yang terbangkitkan. Uap akan memutar turbin yang dikopel dengan generator listrik. Sehingga daya listrik dapat diproduksi dari proses konversi energi. Daya yang dapat dibangkitkan tergantung pada jumlah sampah yang memiliki kandungan bahan mampu bakar seperti serat, kertas atau limbah biomassa [23]. Semua komponen tersebut terintegrasi menjadi satu kesatuan sistem unit yang bekerja untuk dapat menghasilkan energi listrik, berikut penjelasan dari komponen-komponen pembangkit daya tersebut [34].

- a. Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau *steam*. Air panas atau *steam* pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi *steam*, volumenya akan meningkat sekitar 1.600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga boiler merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik. Sistem boiler terdiri dari : sistem air umpan, sistem *steam* dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan *steam*. Sistem *Steam* mengumpulkan dan mengontrol produksi *steam* dalam boiler. *Steam* dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna atau turbin uap. Pada keseluruhan sistem, tekanan *steam* diatur menggunakan kran

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

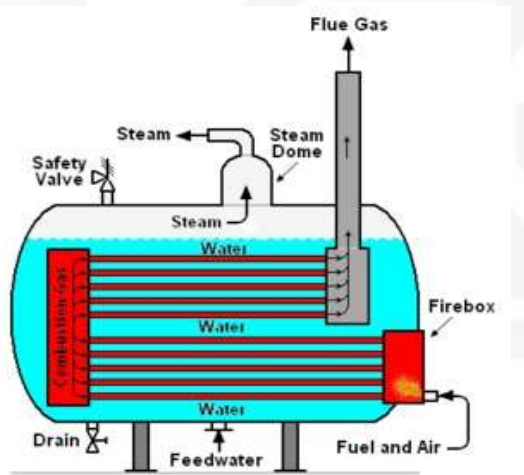
dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem. Jenis boiler dibagi menjadi dua yaitu :

1. Boiler pipa api (*Fire tube boiler*)

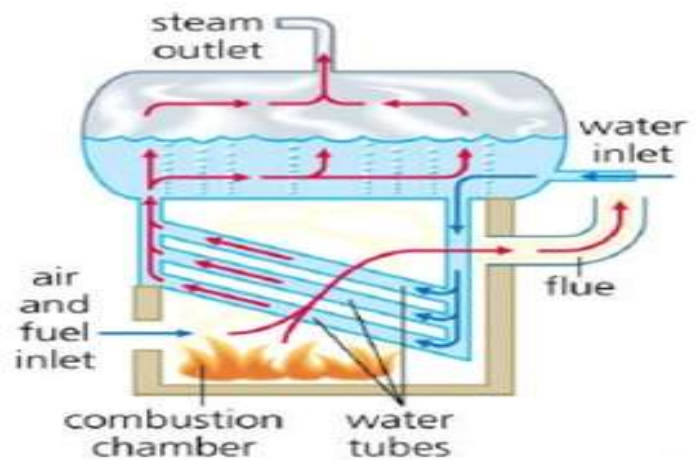
Boiler ini terdiri dari tangki air yang dilubangi dan dilalui pipa-pipa, dimana gas panas yang mengalir pada tangki tersebut digunakan untuk memanaskan air pada tangki. Boiler pipa api ini biasanya digunakan untuk kapasitas *steam* yang relatif kecil dengan tekanan *steam* rendah sampai sedang.

2. Boiler pipa air (*Water tube boiler*)

Pada boiler jenis ini air umpan mengalir melalui pipa-pipa, air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakar. Boiler ini dipilih jika kebutuhan *steam* dan tekanan *steam* tinggi.



a. Boiler pipa api



b. Boiler pipa air

Gambar 2. : jenis boiler [34]

b. Turbin adalah suatu perangkat pemutar yang dilengkapi sudu-sudu (*blade*). Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi kinetik. Turbin uap terdiri dari sebuah cakram yang dikelilingin oleh daun-daun cakram yang disebut sudu-sudu. Sudu-sudu ini berputar karena tiupan dari uap bertekanan yang berasal dari ketel uap, yang telah dipanasi terlebih

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

dahulu dengan menggunakan bahan bakar padat, cair dan gas. Uap tersebut kemudian dibagi dengan menggunakan *control valve* yang dipakai untuk memutar turbin yang dikopelkan langsung dengan pompa dan juga sama halnya dengan generator sinkron untuk menghasilkan energi listrik. Setelah melewati turbin uap, uap yang bertekanan dan bertemperatur tinggi tadi muncul menjadi uap bertekanan rendah. Sisa panas yang terbuang mencapai setengah jumlah panas semula yang masuk, hal ini mengakibatkan efisiensi termodinamika suatu turbin uap berkisar antara 25-30%. Ditinjau dari aliran uap, turbin uap di klasifikasikan menjadi tiga tipe.

1. Turbin aliran radial

Turbin jenis ini terdiri dari dua rotor dengan *blades* dipasang berselangan. Kedua rotor berputar dengan arah saling berlawanan, dan masing-masing rotor dikopel terhadap dua generator terpisah. Arah aliran uapnya radial (tegak lurus menjauhi poros).

2. Turbin aliran tangensial

Jenis turbin ini memiliki konstruksi yang kokoh akan tetapi efisiensinya sangat rendah. Pancaran uap dari nosel diarahkan untuk menghembuskan *bucket* yang dipasang melingkar pada rotor. Arah hembusan uap adalah tangensial (pada garis singgung putaran *bucket*).

3. Turbin aliran aksial

Tipe turbin jenis ini yang paling populer dan sangat cocok untuk kapasitas besar dan memiliki efisiensi yang lebih baik dibanding turbin aliran tangensial. Pancaran uap yang keluar dari nosel mendorong rotor sehingga berputar, arah aliran uap sejajar dengan poros rotor.

c. Generator listrik adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik, proses ini dikenal sebagai pembangkit listrik. Generator mendorong muatan listrik untuk bergerak melalui sebuah sirkuit eksternal, sumber energi mekanik bisa berupa resiprokat maupun turbin uap ataupun sumber energi mekanik yang lain. Generator sinkron mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik bolak-balik secara elektromagnetik. Energi mekanik berasal dari penggerak mula yang



memutar rotor, sedangkan energi listrik dihasilkan dari proses induksi elektro magnetik yang terjadi pada kumparan-kumparan *stator*. Secara umum generator sinkron terdiri atas *stator*, *rotor* dan celah udara. Stator merupakan bagian dari generator sinkron yang diam sedangkan *rotor* adalah bagian yang berputar dimana diletakkan kumparan medan yang disuplai oleh arus searah dari eksiter. Generator pada PLTSA mengubah energi kinetik poros menjadi energi listrik. *Rotor* generator terpasang 1 poros dengan *rotor* turbin sehingga *rotor* generator sama dengan putaran *rotor* turbin sebesar 3000 rpm yang ekuivalen keluaran frekuensi energi listrik sebesar 50 Hz.

2.9 Teori Studi Kelayakan

Sebuah studi kelayakan ialah studi pendahuluan yang dilakukan sebelum melakukan proyek untuk memastikan kemungkinan keberhasilan proyek dan keberlanjutan (*sustainability*) sebuah proyek. Bila gagasan tersebut adalah investasi dalam pembangunan proyek berupa fasilitas baru, maka untuk menilai kelayakan perlu dilakukan serangkaian kegiatan mulai dari mengembangkan, menganalisa dan menyaring gagasan yang timbul sampai kepada menelusuri berbagai aspek proyek. Studi kelayakan memperhitungkan aspek seperti dampak ekonomi, sosial dan lingkungan yang berbeda, dan biasanya termasuk risiko penilaian untuk setiap alternatif [24].

Pengkajian kelayakan atas suatu proyek bertujuan untuk mempelajari usulan dari segala segi secara profesional agar setelah usulan proyek tersebut diterima dan dilaksanakan, betul-betul dapat mencapai hasil sesuai dengan yang direncanakan. Pembangunan proyek Industri yang berskala besar tentu akan memerlukan dana dan upaya yang cukup besar, sehingga berpengaruh terhadap kelangsungan hidup perusahaan apabila hasil studi kelayakan tidak sesuai dengan yang di harapkan. Oleh karena itu perlu dilakukannya penelitian serta pengkajian yang seksama dan sistematis sebelum menanam modal untuk investasi [24].

Kriteria kelayakan berkaitan erat dengan keberhasilan, dan hasil akan berbeda dari satu serta lain sudut pandang dan kepentingan. Biasanya masyarakat akan memandang keberhasilan proyek pembangunan pabrik dari sudut seberapa jauh mereka dapat berpartisipasi mengisi lapangan kerja dan kegiatan usaha. Bagi pemilik proyek swasta, titik utama keberhasilan diletakkan pada aspek finansial dan ekonomi. Sedangkan dari sudut pandang



pemerintah mempunyai kriteria yang lebih luas, seperti pertumbuhan ekonomi, kesejahteraan masyarakat, dan juga mendorong prakarsa swasta [24].

Untuk menilai layak atau tidaknya melakukan investasi dalam pembangunan sebuah proyek, umumnya aspek-aspek yang perlu dikaji meliputi teknik, finansial, ekonomi, sosial dan lingkungan. Pengkajian tersebut tidak berdiri sendiri tetapi berkaitan erat antara satu aspek dengan aspek lainnya. Pada dasarnya hasil yang telah dicapai dalam satu langkah tidak dianggap final, tetapi dapat mengalami perubahan berdasarkan pertimbangan yang diperoleh dalam langkah selanjutnya[24].

Dalam konsep penilaian kelayakan pada pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) ada beberapa aspek penting yaitu aspek teknis-ekonomi, aspek lingkungan dan aspek sosial. Pada aspek lingkungan merupakan pembahasan tentang ketahanan jangka panjang pada kapasitas regeneratif ekosistem atau tersedianya makhluk hidup dalam jangka panjang dan pembahasan aspek lingkungan pada PLTSa dapat menjadi solusi permasalahan tersebut tidak hanya dapat mengurangi emisi GHG (*Green House Gas*) tapi juga dapat berkontribusi dalam solusi permasalahan lingkungan lainnya seperti polusi udara. Pada aspek teknis-ekonomi karakteristik penyebaran teknologi dan sistem ekonomi pada setiap pengoperasian dan pada aspek sosial menampilkan harapan manusia terhadap kualitas hidup yang baik untuk generasi yang akan datang dari segi keamanan (konflik sosial), kenyamanan (kebisingan, lingkungan yang bersih), serta kesejahteraan hidup (peningkatan perekonomian dan ketersediannya lapangan pekerjaan)[24].

Aspek pasar pada *sustainability* PLTSa ini tidak perlu dibahas lebih dalam, karena biasanya suatu negara telah menjamin hal ini dengan memberikan *insentif* dan menawarkan sistem *feed-in-tarif* (harga listrik per unit yang harus dibayar oleh perusahaan utilitas). *Feed-in-tarif* ini menawarkan kontrak jangka panjang dengan produsen listrik.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

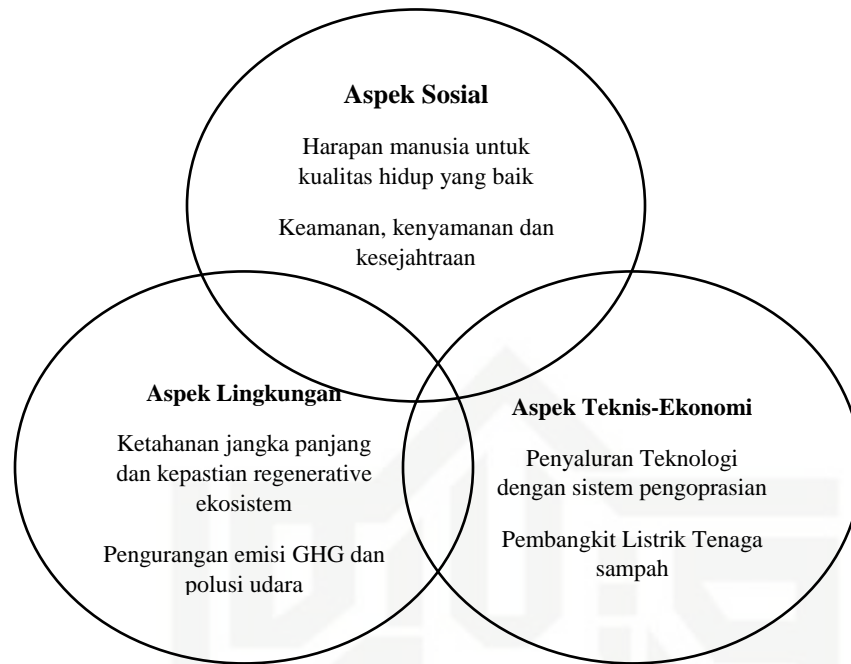
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.10 : Konsep *sustainability* Pada PLTSa [24]

2.9.1 Garis Besar Studi Kelayakan

Berikut adalah gambaran umum singkat tentang bagian yang paling penting ketika melakukan studi kelayakan pengembangan proyek [28].

- a. Pengenalan proyek dan ruang lingkup, tujuan sasaran juga mencakup identifikasi skenario yang berbeda, termasuk pilihan mungkin dan alternatif.
- b. Penjelasan rinci dari dasar proyek ini memerlukan sebuah penilaian lokasi dan kerangka lokal yang relevan kondisi, yang meliputi umum (geografi, iklim), hukum (relevan pemerintah dan hukum struktur), ekonomi (perdagangan yang dominan, struktur kerja), serta evaluasi energi dan pengolahan limbah sektor lokal. Semua ini mungkin didasarkan pada penilaian yang sudah lengkap.
- c. Deskripsi dan keuntungan dari usaha yang memiliki potensi ini termasuk desain proyek sebagai serta teknis, ekonomi, lingkungan dan sosial penilaian misalnya metode yang berbeda dari energi generasi yang mungkin digunakan. Hal ini juga termasuk evaluasi lebih rinci dari persyaratan peraturan.



- d. Menggambarkan risiko yang terlibat. Hal ini memerlukan untuk menentukan risiko kriteria, membahas risiko dan mengidentifikasi langkah-langkah untuk risiko yang akan terjadi.
- e. Membandingkan alternatif dan pilihan yang berbeda. Ini berarti kriteria untuk pengambilan keputusan, yang melibatkan bobot risiko yang disorot sebelumnya.
- f. Akhirnya rekomendasi untuk pilihan terbaik diberikan.

Keberhasilan studi kelayakan didasarkan pada identifikasi yang cermat dan penilaian semua isu penting bagi keberhasilan usaha. Tergantung pada proyek, item tambahan mungkin juga menjadi penting. Dasar dari studi kelayakan adalah untuk menentukan potensi keberhasilan pembangunan yang diusulkan. Sebuah studi kelayakan tidak akan menjamin solusi “terbaik”. Seringkali, terutama ketika membandingkan berbeda pilihan, sulit untuk mengatakan mana pasti akan menjadi yang terbaik. Melalui evaluasi menyeluruh terhadap kondisi kerangka kerja dan kemungkinan yang berbeda namun wawasan yang sangat berharga diperoleh yang akan membantu rekomendasi tegas.

2.9.2 Penilaian Kelayakan

Hal paling utama pada penilaian studi kelayakan PLTSa ialah pada aspek teknis yang memungkinkan dapat diterapkan. Untuk kelangsungan hidup (*sustainability*) pada PLTSa, aspek ekonomi lingkungan dan sosial perlu untuk di investigasi. Aspek akhirnya ialah regulasi mengenai izin untuk pengadaan, pengoperasian dan penyaluran energi kepada konsumen [28].

Beberapa parameter penilaian studi kelayakan dapat di jelaskan sebagai berikut:

- a. Proyek desain dan penilaian teknis

Penilaian dari desain proyek dimulai dengan evaluasi lokasi yang mungkin, jika beberapa pilihan ada infrastuktur, logistik latar belakang dari penilaian teknis adalah menilai kemungkinan lokasi dapat diterapkan, termasuk perbandingan dan evaluasi aspek teknis dari berbeda pembangkit energi yang berbeda. Parameter aspek teknis yang harus dimasukkan dalam penilaian teknis ialah sebagai berikut :

1. Bahan baku : kondisi bahan baku, jenis penyimpanan, jenis pengolahan dan lain-lain



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2. Proses dan fasilitas : jumlah, jenis, ukuran pabrik, jenis proses, reaktor, disain parameter, parameter operasi, lembar aliran proses, data pada komponen teknis utama dan lain-lain.
3. Aspek konstruksi : lantai ruang diperlukan, volume konstruksi, bangunan dan fasilitas rencana penempatan konsep situs. Tanah dan bangunan evaluasi tanah.
4. Pemanfatan energi (dalam bentuk listrik, panas, pendingin, uap) dan aspek distribusi kapasitas, lokal, jarak sub-stasiun, tingkat tegangan, kondisi jaringan utama, asupan kapasitas dari *grid*. Kemungkinan *feed-in tariff* , konsep elektro-teknis aspek dan teknologi kontrol.
5. Keberlanjutan produk atau limbah pabrik

b. Penilaian aspek ekonomi

Mirip dengan evaluasi teknis diatas penilaian ekonomi juga memilih dan membandingkan pada pilihan yang ada, tujuannya adalah untuk mendapatkan gambaran yang baik atas manfaat finansial dan beban yang terkait dengan masing-masing pilihan poses. Setelah membaca bagian penelitian ini, pemimpin proyek dapat mengambil keputusan dengan mengevaluasi biaya yang di harapkan dari setiap pilihan pembangkitan energi. Biaya yang harus disertakan ialah biaya investasi, biaya oprasi dan pemeliharaan, biaya produksi energi dan pendapatan. Selanjutnya kelayakan ekonomi dari proyek dan aspek finansial yang harus diselidiki. Pertanyaan lain adalah bagaimana proyek berdampak pada ekonomi, terutama sektor energi dan sektor pengolahan sampah. Pembahasan dampak ekonomi dengan penduduk setempat, orang-orang bisnis dan yang lain yang terpengaruh akan menyebabkan penerimaan yang lebih baik dari proyek secara keseluruhan dan memiliki lebih dulu apa yang akan datang sebagai protes di masa depan.

c. Penilaian lingkungan

Meneliti dampak lingkungan dari melindungi secara menyeluruh apakah merupakan aspek penting dari studi kelayakan. Seringkali pembangkit energi terbarukan dipasang dengan ide pembangunan bersih dan peningkatan kesadaran dari habitat alami yang pemangku kepentingan ingin melestarikan, karena itu sering hanya sebuah



perkembangan baru yang dapat mengklaim dampak lingkungan yang rendah akan berhasil. Berikut ini hal yang harus dievaluasi secara terpisah pada aspek lingkungan

1. Dampak lokal yang meliputi limbah (pengurangan limbah) air, tanah, kebisingan dan bau.
2. Dampak global termasuk *deforestasi* potensi penghematan CO₂ dan pengurangan gas lainnya seperti gas rumah kaca (GRK)..

d. Penilaian aspek sosial

Penilaian dampak sosial adalah untuk mendapatkan penerimaan dari penduduk lokal dan pengambilan keputusan lainnya. Hal ini penting di evaluasi untuk menunjukkan bagaimana proyek-proyek yang dapat menjamin peningkatan jumlah tenaga kerja selama periode waktu yang panjang memiliki keunggulan alami. Disini juga perlu penelitian bagaimana negara atau wilayah yang bersangkutan mandiri akan dengan pemeliharaan dan keamanan mesin di pabrik.

2.10 Analisa Ekonomi

Pada bagian ini menggambarkan metodeologi untuk mengestimasi biaya-biaya yang mungkin timbul dari pemanfaatan sampah menjadi energi. Biaya-biaya ini meliputi 2 (dua) komponen biaya utama yaitu biaya investasi modal dan biaya O&M. perhitungan biaya produksi energi listrik PLTSa yaitu perhitungan biaya produksi energi listrik PLTSa[6].

a. Arus Biaya (*Outflow*)

Arus biaya (*outflow*) merupakan pengeluaran–pengeluaran yang akan terjadi selama usaha berlangsung[6].

1. Biaya investasi

Biaya investasi merupakan biaya yang dikeluarkan pada awal umur proyek secara keseluruhan. Barang–barang investasi akan habis dipakai jika umur ekonomis dari barang tersebut telah habis waktunya. Kegiatan investasi juga dapat dilakukan lagi jika umur ekonomis dari barang tertentu telah habis sedangkan pelaksanaan proyek belum berakhir, kegiatan ini disebut sebagai re-investasi peralatan. biaya investasi terdiri dari biaya investasi mesin dan sistem operasi, biaya investasi konstruksi pabrik dan transmisi listrik, biaya pra-investasi dan operasional yang terdiri dari biaya tetap dan biaya variabel.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

b. Arus Manfaat (*Inflow*)

Manfaat merupakan sesuatu yang dapat menambah pendapatan bagi usaha dengan kata lain segala sesuatu yang diperoleh setelah adanya pengorbanan atau biaya. Pada unit usaha PLTSa, manfaat yang diperoleh berasal dari penjualan listrik dan penjualan debu [6].

1. Penjualan Listrik

Penetapan harga listrik berdasarkan harga tarif dasar yang ditetapkan PLN. Nilai penjualan listrik diperoleh dari volume produksi listrik dikalikan dengan harga jual listrik[6].

$$\text{Penjualan listrik} = \text{Produksi listrik (kWh)} \times \text{Tarif Listrik (Rp)} \dots\dots\dots(2.5)$$

2. Penjualan debu

Jumlah produksi debu dari limbah PLTSa adalah 20% dari berat sampah yang diolah. Penetapan harga penjualan debu disesuaikan dengan penjualan pasir yaitu per-ritasi (rit) truk dengan jumlah debu/rit adalah 8 m³, nilai penjualan debu diasumsikan 50 persen harganya lebih rendah dari harga pasir[6].

$$\text{Penjualan debu} = (\text{Produksi debu} \times (\text{harga pasir} \times 50\%)) \dots\dots\dots(2.6)$$

2.11 Analisa Kelayakan Finansial

Dalam mengukur kelayakan proyek pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) diperlukan beberapa parameter berikut yaitu *Net Present Value* (NPV), *Payback Periode* (PP), *Benefit Cost Ratio* (BCR), dan *Internal Rate of Return* (IRR)

2.11.1 Net Present Value (NPV)

NPV merupakan selisih antara *present value* dari arus pemasukan dengan *present value* arus pengeluaran (O&M dan investasi). NPV menunjukkan manfaat bersih yang diterima suatu usaha selama umur dari usaha tersebut pada tingkat *discount rate* tertentu [27].

Kriteria NPV yaitu :

- a. NPV > 0, berarti usaha layak untuk dilaksanakan
- b. NPV < 0, berarti usaha tidak layak untuk dilaksanakan
- c. NPV = 0, berarti usaha yang dijalankan tidak untung dan tidak rugi

Untuk menghitung NPV dapat menggunakan persamaan berikut:



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$NVP = \sum_{i=1}^n \frac{NB_i}{(i + 1)^n} = \sum_{i=1}^n \overline{B}_1 - \overline{C}_1 \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

- NPV = *Net Present Value* (Rp)
- NB = *Net Benefit = Benefit - Cost*
- Bi = *Benefit* yang telah didiskon
- Ci = *Cost* yang telah didiskon
- n = tahun ke
- I = diskon rate (%)

2.11.3 Internal Rate of Return (IRR)

Internal Rate of Return merupakan suku bunga yang akan menyamakan nilai *present value* dari arus pemasukan dengan dengan *present value* dari arus pengeluaran.

- a. Apabila IRR lebih besar daripada suku bunga bank maka proyek layak dilaksanakan.
- b. Apabila IRR lebih kecil daripada suku bunga bank maka proyek tidak layak untuk dilaksanakan.

Untuk menghitung IRR dapat menggunakan persamaan berikut :

$$IRR = i_1 \left(\frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \right) \times (i_1 - i_2) \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

- IRR = *Internal Rate of Return* (%)
- NPV1 = *Net Present Value* dengan tingkat bunga rendah (Rp)
- NPV2 = *Net Present Value* dengan tingkat bunga tinggi (Rp)
- i₁ = tingkat bunga pertama (%)
- i₂ = tingkat bunga kedua (%)

2.11.2 Payback Periode (PP)

Payback Periode adalah suatu periode yang menunjukkan berapa lama waktu yang dibutuhkan agar modal yang ditanamkan dalam suatu usaha tertentu dapat dikembalikan. Suatu usaha dapat dikatakan layak untuk dilaksanakan apabila niali *Payback Periode* lebih kecil dari nilai ekonomis usaha tersebut[27].



Rumus *payback periode* jika arus kas per tahun jumlahnya sama :

$$PP = \frac{\text{Investasi Awal}}{\text{Arus kas (1 tahun)}} \dots\dots\dots (2.8)$$

2.12 Aspek Lingkungan dan Sosial

2.12.1 Aspek Lingkungan

Pemanfaatan sampah sebagai bahan bakar pembangkit listrik adalah salah satu alternatif dalam rangka mengurangi emisi yang di hasilkan akibat pembakaran sampah konvensional. CO merupakan salah satu emisi penghasil gas rumah kaca. PLTSa juga mampu meredam efek rumah kaca (pemanasan global) yang diakibatkan oleh gas CH₄ yang dihasilkan dari pembusukan sampah-sampah organik, CH₄ memiliki sifat polutan 21 kali jika di bandingkan dengan CO₂. Berdasarkan hal tersebut pemanfaatan sampah sebagai bahan bakar pembangkit listrik mempunyai kontribusi dalam pengurangan emisi gas rumah kaca dan gas NO_x yang mengakibatkan hujan asam serta dioksin (zat penyebab kanker) yang dihasilkan dari pembakaran sampah secara konvensional [25].

1. Menghitung emisi CO akibat pembakaran konvensional dengan menggunakan persamaan berikut [25].

$$\text{beban emisi CO} = FE_{CO} \times TS \times JP \times \%PS \times FPS \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

FE_{CO} = Faktor emisi CO (38, 55 g/kg smpah)

TS = Timbulan sampah (kg/orang/hari)

JP = Jumlah Penduduk (orang)

PS = Persentase penduduk membakar sampah

FPS = Frekuensi pembakaran sampah

2. Menghitung emisi CH₄ akibat pembakaran konvensional dengan menggunakan persamaan berikut [25]

$$\text{beban emisi CH}_4 = FE_{CH_4} \times TS \times JP \times \%PS \times FPS \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan :

FE_{CH₄} = Faktor emisi CO (38, 55 g/kg smpah)

TS = Timbulan sampah (kg/orang/hari)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



- JP = Jumlah Penduduk (orang)
 PS = Persentase penduduk membakar sampah
 FPS = Frekuensi pembakaran sampah

2.12.2 Analisa sosial menggunakan pendekatan Statistika

Berbagai pihak akan terlibat dan terkena dampak keberadaan PLTSa yang di rencanakan, terutama masyarakat sekitar lokasi PLTSa. Dampak yang mungkin terjadi tersebut bersifat negatif maupun positif. Beragam fenomena yang akan muncul dari rencana pembangunan PLTSa, seperti penolakan maupun penerimaan dari masyarakat. Penolakan yang terjadi biasanya terjadi karena masyarakat tidak ingin terganggu atau bahkan dapat merugikan mereka maupun generasi mereka yang akan datang dari segi keamanan, kenyamanan, serta segi kesejahtraan hidup. Penerimaan masyarakat terhadap rencana pembangunan PLTSa didapat apabila harapan masyarakat untuk dapat menikmati kualitas hidup yang baik dapat tercapai seperti terjalannya keamanan, kenyamanan dan kesejahtraan untuk dapat mengetahui tingkat penerimaan masyarakat terhadap rencana pembangunan PLTSa dengan tepat, akurat dan objektif secara kuantitas maka dilakukan analisa sosial dengan teori statistik. Diharapkan hasil analisa yang dilakukan menjadi alat bantu dalam membuat keputusan terhadap penerimaan rencana pembangunan PLTSa

Statistik sering digunakan ketika parameter yang menggambarkan karakteristik populasi tidak diketahui. Statistik akan mengambil sebagian kecil dari populasi untuk dilakukan pengukuran, kemudian hasil pengukuran tersebut dijadikan sebagai kesimpulan terhadap keseluruhan populasi. Sebagian kecil dari populasi tersebut dinamakan *sample*.

Terdapat dua jenis statistik yang digunakan ketika penelitian, yaitu : statistik deskriptif (*descriptive statistics*) dan statistik inferensi (*inferential statistics*). Sesuai dengan nama nya statistik deskriptif hanya mendeskripsikan atau menggambarkan data atau seperti apa data ditunjukkan, sedangkan statistik inferensi mencoba untuk mencapai kesimpulan (bersifat induktif) dari data dengan kondisi yang umum [26].

Statistik deskriptif adalah metode yang berkaitan dengan mengumpul dan penyajian suatu gugus data sehingga menaksir kualitas data berupa jenis variable ringkasan statistik (*mean, median, modus, standee deviasi, dll*), distribusi dan representasi bergambar grafik,



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

tanpa rumus probabilitas apapun [26]. Beberapa teori yang akan digunakan untuk mengukur suatu tingkat dari persepsi ialah sebagai berikut :

a. Populasi dan Sampel

Populasi adalah wilayah generalisasi yang terdiri atas objek/subjek yang mempunyai kualitas dan karakteristik tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan ditarik kesimpulannya, sedangkan sampel adalah jumlah dan karakteristik yang dimiliki oleh populasi tersebut. Dengan kata lain, sampel merupakan sebagian atau perwakilan dari populasi sehingga yang berhasil diperoleh dari sampel dapat mewakili populasi[26].

Menentukan sampel dari populasi digunakan perhitungan maupun acuan table yang dikembangkan para ahli. Secara umum, untuk penelitian *orelasional* jumlah sampel minimal untuk dapat memperoleh hasil yang akurat adalah 30, sedangkan dalam penelitian eksperimen jumlah sampel minimal 15 dari masing-masing kelompok dan untuk penelitian survei jumlah sampel minimum adalah 100 [26]. Besaran atau ukuran sampel ini sangat tergantung dari besaran tingkat ketelitian atau kesalahan yang diinginkan peneliti. Namun, dalam hal tingkat kesalahan pada penelitian sosial maksimal tingkat kesalahan adalah 5% (0,05). Makin besar tingkat kesalahan maka semakin kecil pula sampel. Namun yang perlu diperhatikan adalah semakin besar sampel (semakin mendekati populasi) maka semakin kecil peluang kesalahan generalisasi dan sebaliknya, semakin kecil sampel (menjauhi populasi) maka semakin besar peluang kesalahan generalisasi. Untuk menentukan jumlah sampel dapat digunakan persamaan Slovina sebagai brikut [26] :

$$n = \frac{N}{(1 + Ne^2)} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

- n = Jumlah Sampel
- N = total populasi
- e = *error tolerance*

b. Teknik Pengambilan Sampel (*Sampling*)

Teknik *sampling* merupakan cara untuk menentukan banyaknya sampel dan pemilihan calon anggota sampel, sehingga setiap sampel yang terpilih dalam penelitian



dapat mewakili populasinya baik dari aspek jumlah maupun dari aspek karakteristik yang dimiliki.

Secara umum ada dua jenis teknik pengambilan sampel yaitu, sampel acak atau *random sampling/probability sampling*, dan sampel tidak acak atau *non random sampling/probability sampling*, yang dimaksud dengan *random sampling* adalah cara pengambilan sampel yang memberikan kesempatan yang sama untuk diambil kepada setiap elemen populasi. Artinya jika elemen populasinya ada 100 dan yang akan dijadikan sampel 25, maka setiap elemen tersebut mempunyai kemungkinan 25/100 untuk bisa dipilih menjadi sampel. Sedangkan yang dimaksud dengan *non random sampling*, setiap elemen populasi tidak mempunyai kemungkinan yang sama untuk dijadikan sampel [26].

Dua jenis teknik *sampling* di atas mempunyai tujuan yang berbeda, jika peneliti ingin hasil penelitiannya bisa dijadikan ukuran untuk mengestimasi populasi atau melakukan generalisasi maka seharusnya sampel representatif dan diambil secara acak. Namun jika peneliti tidak mempunyai kemauan melakukan generalisasi hasil penelitian maka sampel bisa diambil secara tidak acak. Sampel tidak acak juga biasanya diambil jika peneliti tidak mempunyai data pasti tentang ukuran populasi dan informasi lengkap tentang setiap elemen populasi.

c. Penggunaan *Statistic Product And Servis Solution* (SPSS)

Statistic Product And Servis Solution atau biasa dikenal (SPSS) merupakan pengolahan data statistik mulai dari medel aplikasi statistik deskriptif (*mean, median, modus, kuartil, persentil, range, persentase, distribusi, varians, standar, deviasi, stndar error*, nilai kemiringan, dan lain-lain), statistik *parametrik* (uji t, *korelasi, regresi, anova* dan *reliabilitasi* dan lain-lain), serta statistik *non-parametrik*. Pada penelitian ini penggunaan SPSS digunakan untuk menguji kuisisioner pada aspek sosial, uji *validasi*, uji *reliabilitasi* serta persentasi kuisisioner.

1. Uji Validasi

Menurut Bahasa Validasi berasal dari kata *validity* yang mempunyai arti sejauh mana ketepatan dan kecermatan suatu alat ukur dalam melakukan fungsi ukurnya. Suatu tes dikatakan valid apabila tes tersebut mengukur apa yang hendak diukur. Tes memiliki validasi yang tinggi jika hasilnya sesuai dengan kriteria,

dalam arti memiliki kesejajaran antara tes dan kriteria. Sisi lain dari pengertian validitas adalah aspek kecermatan pengukuran. Suatu alat ukur yang valid tidak hanya mampu menghasilkan data yang tepat akan tetapi juga harus memberikan gambaran yang cermat mengenai data tersebut.

2. Uji Reliabilitas

Reliabilitas adalah serangkaian pengukuran atau serangkaian alat ukur yang memiliki konsistensi bila pengukuran yang dilakukan dengan alat ukur yang memiliki konsensitensi bila pengukuran yang dilakukan alat ukur itu dilakukan secara berulang. *Reabilitas* tes adalah tingkat keajegan (konsistensi) suatu tes, yakni sejauh mana suatu tes dapat di percaya untuk menghasilkan skor yang ajeg. Relatif tidak berubah walaupun dites pada situasi yang beda-beda. *Reliabilitas* suatu tes adalah seberapa besar derajat tes mengukur secara konsisten sasaran yang diukur. Reliabilitas dinyatakan dalam bentuk angka, biasanya sebagai koefisien tinggi berarti reliabilitas tinggi. Dapat disimpulkan bahwa reliabilitas adalah suatu keajegan suatu tes untuk mengukur atau mengamatin sesuatu menjadi objek ukur.

d. Skala *Likert*

Skala *Likert* digunakan untuk mengukur sikap, pendapatan dan persepsi seseorang atau sekelompok orang tentang fenomena sosial. Fenomena sosial ini disebut variable penelitian yang telah ditetapkan secara spesifik oleh peneliti. Jawaban dari setiap instrument yang menggunakan Skala *Likert* mempunyai gradasi dari sangat positif sampai sangat negatif yang dapat berupa kata-kata antara lain : sangat setuju, setuju, ragu-ragu, tidak setuju, sangat tidak setuju, selalu, sering, kadang-kadang, tidak pernah. Instrument penelitian yang menggunakan Skala *Likert* dapat dibuat dalam bentuk centang (*checklist*) ataupun pilihan ganda [26].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.