

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Dinamika pertumbuhan jumlah penduduk menyebabkan peningkatan jumlah sampah. Peningkatan jumlah sampah yang tidak diantisipasi dengan pengelolaan sampah yang tepat akan menyebabkan berbagai permasalahan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Dampak secara langsung seperti pencemaran lingkungan (baik tanah, air, maupun udara), berbagai penyakit kulit, dan gangguan pernafasan. Dampak secara tidak langsung seperti banjir yang disebabkan adanya tumpukan sampah di sungai atau saluran drainase.

Penumpukan sampah di lokasi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) jika tidak dikelola dengan tepat juga akan menimbulkan berbagai permasalahan. Tumpukan sampah tersebut akan menghasilkan emisi gas rumah kaca seperti emisi gas karbondioksida (CO₂) dan gas metana (CH₄) ke atmosfer yang dapat menyebabkan terjadinya penipisan lapisan ozon. Hal ini berimplikasi terhadap peningkatan suhu di bumi atau yang lebih dikenal dengan istilah *global warming*.

Upaya pengurangan emisi gas rumah kaca bermula dari adanya Protokol Kyoto pada tahun 1990 yang mewajibkan kepada seluruh negara di dunia untuk mengurangi emisi gas rumah kaca selama kurun waktu hingga tahun 2008 sampai tahun 2012. Undang- Undang RI Nomor 17 tahun 2004 tentang Pengesahan *Kyoto Protocol To The United Nations Framework Convention On Climate Change* (Protokol Kyoto atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Perubahan Iklim) juga mengamanatkan Indonesia sebagai negara berkembang untuk mempercepat pengembangan industri dan transportasi dengan tingkat emisi rendah melalui pemanfaatan teknologi bersih dan efisien serta pemanfaatan energi terbarukan. Akibatnya penggunaan bahan bakar yang mempunyai emisi tinggi beralih menuju bahan bakar yang memiliki emisi rendah, dengan pemanfaatan gas metana sebagai biogas (Sutarno dan Sukara, n.d.). Selain Protokol Kyoto, Program *Waste To Energy* (WTE) perlu didukung oleh pemerintah karena memberikan keuntungan, diantaranya sebagai sumber energi alternatif dan mengurangi emisi gas rumah kaca (Themelis, 2008).

Enam gas yang termasuk gas rumah kaca diantaranya CO₂, CH₄, N₂O, hidrofluorocarbons (HFCs), perfluorocarbons (PFCs), dan SF₆ (Chalvatzaki dan Lazaridis,

n.d.). Kontributor utama terhadap emisi gas rumah kaca adalah emisi gas metan dari TPA (Scharff dan Jacobs, 2006). Padahal gas metan merupakan komponen terbesar dari biogas yang dapat dihasilkan pada tumpukan sampah di TPA dengan persentase antara 55% sampai dengan 75% (Sucipto, 2012). Emisi gas metan 21 kali lipat lebih berbahaya dibandingkan dengan emisi CO₂ (Czepiel, et al., 2003). Indeks *Global Warming Potential* (GWP) beberapa gas rumah kaca dapat dilihat pada Tabel 1.1 berikut.

Tabel 1.1. Indeks GWP beberapa gas rumah kaca terhadap CO₂ dalam 100 tahun

Jenis Gas	Indeks GWP
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310
HFC	500
SF	9200

Sumber: Anon (1999) dalam Sudarman (2010)

Berdasarkan Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, Pemerintah Daerah memiliki kewajiban untuk melakukan penelitian, pengembangan teknologi pengurangan dan penanganan sampah; memfasilitasi, mengembangkan dan melaksanakan upaya pengurangan, penanganan dan pemanfaatan sampah; serta mendorong dan memfasilitasi pengembangan manfaat hasil pengolahan sampah. Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 tersebut didukung dengan adanya Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 21/PRT/M/15 September 2006 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengembangan Sistem Pengelolaan Persampahan, yang merupakan pedoman untuk pengaturan, penyelenggaraan, dan pengembangan sistem pengelolaan persampahan yang ramah lingkungan.

Sehubungan dengan peraturan-peraturan tersebut, maka dikeluarkan Peraturan Daerah Kota Malang Nomor 10 Tahun 2010 tentang Pengelolaan Sampah. Di dalam pasal 18 ayat 1 butir a disebutkan bahwa untuk kegiatan pengurangan sampah, Pemerintah Daerah dapat menentukan kawasan atau lokasi percontohan untuk pengurangan sampah dengan teknologi yang ramah lingkungan dan kegiatan mendaur ulang serta mengguna ulang. Dan di dalam pasal 19 butir e disebutkan bahwa kegiatan penanganan sampah meliputi pemrosesan akhir sampah dalam bentuk pengembalian sampah dan/atau residu hasil pengolahan sebelumnya ke media lingkungan secara aman.

Kota Malang memiliki permasalahan persampahan yang kompleks. Hal ini erat kaitannya dengan peningkatan jumlah penduduk Kota Malang dari tahun ke tahun. Peningkatan jumlah timbulan sampah di Kota Malang juga dipicu banyaknya pendatang

mengingat Kota Malang sebagai Kota Pendidikan, Kota Wisata, Kota Pusat Perbelanjaan, dan Kota Industri. Oleh karena itu, pendatang di Kota Malang didominasi oleh para pelajar/mahasiswa, pedagang, pekerja, dan wisatawan dari luar Kota Malang (Pemerintah Kota Malang, nd).

Jumlah penduduk Kota Malang berdasarkan hasil Sensus Penduduk tahun 2010 adalah sebesar 820.243 jiwa dengan rata-rata laju pertumbuhan penduduk per tahun sebesar 0,81% (Kota Malang Dalam Angka, 2013). Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Malang menyatakan bahwa jumlah timbunan sampah di Kota Malang pada tahun 2010 adalah sebesar 429,62 ton/hari dengan rata-rata laju pertumbuhan sampah per tahun sebesar 1,28%. Laju pertumbuhan sampah melebihi laju pertumbuhan penduduk, sehingga apabila tidak dilakukan pengelolaan sampah yang tepat akan menimbulkan berbagai permasalahan di Kota Malang.

Themelis (2008) menyatakan bahwa pemisahan materi sampah yang dapat didaur ulang dan dilakukan pengomposan harus dilakukan sebagai upaya dalam rangka pengelolaan sampah padat perkotaan yang berkelanjutan. Hal ini sesuai dengan yang sudah dilakukan di Kota Malang. Berdasarkan data dari Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Malang, pada tahun 2012 jumlah sampah yang dikelola TPA Supit Urang sebesar 84.260 ton, dikelola secara pengomposan oleh pemerintah sebesar 3.317,76 ton, dan masyarakat sebesar 5.265 ton. Sisanya berupa sampah anorganik yang dikelola oleh lapak dan Bank Sampah Malang.

TPA Supit Urang terletak di Kelurahan Mulyorejo, Kecamatan Sukun Kota Malang. Tumpukan sampah di TPA tersebut menghasilkan gas metan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi, diantaranya dimanfaatkan sebagai bahan bakar gas bagi penduduk di sekitar lokasi TPA. Caranya dengan menyalurkan gas dari pipa penangkap gas metan di TPA Supit Urang ke rumah-rumah penduduk seperti prinsip penyaluran air PDAM ke rumah-rumah pelanggan (Antara news, 2012).

Potensi gas metan di TPA dapat menjadi sumber energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi penduduk Kota Malang. Potensi gas metan untuk bahan bakar yang sudah dimanfaatkan saat ini sekitar 3% sampai 5% dari potensi yang ada (Sukarelawati 2013). Berdasarkan keterangan dari Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Malang, Pemerintah Kota Malang sudah memberikan pipa sambungan gas termasuk kompornya secara gratis kepada 59 rumah pada tahun 2012 dan 408 rumah pada tahun 2013.

Gas metan sebagai komponen utama biogas juga dapat dimanfaatkan sebagai energi listrik. Potensi gas metan yang dikelola TPA Supit Urang Kota Malang, rata-rata mencapai 118,3 juta m³/tahun untuk lahan seluas 5 hektar. Padahal lahan TPA Supit Urang saat ini sudah mencapai 25 hektar, maka prediksi gas metan yang dihasilkan bisa mencapai 560 juta m³/tahun. Dengan potensi yang besar tersebut mampu memasok energi listrik hingga sekitar 5,6 juta kWh/tahun. Sedangkan untuk harga jual gas metan rata-rata sebesar 18 dolar AS per ton (Fauzan, 2007).

Negara-negara maju seperti Denmark, Swiss, Amerika Serikat, dan Perancis telah memaksimalkan proses pengolahan sampah dengan mengubah sampah menjadi energi listrik, bahkan 54% sampah di Denmark telah diubah menjadi energi listrik. (Anonim, 2012). Proses tersebut dapat mengatasi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dengan pengembangan energi terbarukan, yaitu biogas dari sampah. Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang energi juga telah menetapkan *blue print* dalam pengelolaan energi nasional serta menargetkan tercapainya elastisitas energi kurang dari satu dan mengoptimalkan energi *mix* primer untuk sumber energi alternatif pada tahun 2025 (Kuncoro, 2008).

Gas metan juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar kendaraan seperti yang dilakukan oleh Muhammad Ayyub, warga Kelurahan Bunulrejo Kecamatan Blimbing Kota Malang. Metode yang digunakan adalah modifikasi karburator dengan modal sebesar Rp 150.000,00. Prosesnya adalah memasukkan gas metan ke dalam tabung gas elpiji berukuran tiga kilogram menggunakan kompresor angin bertekanan tinggi. Satu tabung dengan tekanan 200 *pound per square inch* (psi) dapat melaju sejauh 30 kilometer. (Tempo, 2013).

Besarnya potensi gas metan dari biogas hasil fermentasi sampah organik di TPA Supit Urang memberikan peluang bahwa pemanfaatannya tidak hanya dapat dirasakan oleh penduduk yang tinggal di sekitar lokasi TPA Supit Urang, tetapi dapat dirasakan juga oleh seluruh penduduk Kota Malang. Namun, perlu dilakukan penelitian yang mendalam terhadap potensi biogas di TPA Supit Urang tersebut.

Penelitian sebelumnya di TPA Supit Urang mengenai teknis pembuatan pipa penangkapan gas metan dengan metode *arrow system* (Septiropa, Fauzan, Zainuddin, 2011). Di dalam Studi Kelayakan TPA Regional Malang Raya diperoleh hasil bahwa TPA Supit Urang layak untuk menjadi TPA Regional di sekitar Malang Raya yang meliputi Kota Malang, Kota Batu, dan Kabupaten Malang (Dinas Pekerjaan Umum Cipta Karya dan Tata

Ruang Provinsi Jawa Timur, 2011). Bappeda Kota Malang (2009) menyatakan dalam Studi Kelayakan Penangkapan Gas Metan di TPA Supit Urang, bahwa pada tahun 2009 persentase gas metan kurang lebih 27%, dengan nilai kalor sebesar 8.000 kkal yang setara dengan kayu bakar atau mempunyai nyala api kuning. Persentase gas metan perlu ditingkatkan hingga 50% jika akan dimanfaatkan sebagai energi alternatif, sehingga nilai kalornya dapat setara dengan LPG. Peningkatan persentase gas metan dapat dilakukan dengan fermentasi yang optimal melalui digester.

Hal yang paling mendasar untuk meningkatkan persentase gas metan adalah memperbesar volume bahan baku biogas yaitu sampah organik. Proses pemilahan sampah organik dan anorganik harus dilakukan dimulai dari sampah rumah tangga. Berdirinya Bank Sampah Malang dalam bentuk lembaga koperasi pada tanggal 26 Juli 2011, memelopori adanya pemilahan sampah anorganik yang selanjutnya didaur ulang menjadi barang-barang yang bernilai ekonomis (Bank Sampah Malang, nd). Oleh karena itu, sampah yang dibawa ke TPA Supit Urang didominasi oleh sampah organik, sehingga potensi biogas yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini berimplikasi pada peningkatan persentase gas metan.

Dengan mengoptimalkan pemanfaatan biogas di TPA Supit Urang, Pemerintah Kota Malang optimis bahwa pada waktu mendatang Kota Malang akan mampu mandiri energi. Pada tahun 2013, Pemerintah Kota Malang mendapatkan Piala Adipura Kencana karena keberhasilannya dalam program-program pengelolaan sampah, seperti Bank Sampah Malang dan pemanfaatan biogas di TPA Supit Urang sebagai sumber energi terbarukan yaitu sebagai bahan bakar pengganti LPG bagi penduduk sekitar TPA Supit Urang.

1.2. RUMUSAN MASALAH

Sumber energi terbarukan perlu digalakkan untuk keberlanjutan ketersediaan energi. Pemerintah diharapkan melakukan program konversi bahan bakar minyak (BBM) ke bahan bakar gas (BBG) serta program *Waste To Energy* (WTE) guna keberhasilan program pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*).

Dari permasalahan tersebut, maka timbul pertanyaan penelitian (*research question*) sebagai berikut:

- Bagaimana pengelolaan sampah di Kota Malang, khususnya di TPA Supit Urang Kota Malang?
- Bagaimana kondisi pemanfaatan biogas di TPA Supit Urang Kota Malang?

- Berapa potensi biogas yang dihasilkan di TPA Supit Urang Kota Malang? Berapa persen biogas yang sudah dimanfaatkan sebagai bahan bakar gas bagi penduduk di sekitar TPA Supit Urang dan berapa persen potensi biogas yang dapat dimanfaatkan sebagai energi listrik?
- Bagaimana prediksi pengurangan emisi gas rumah kaca dilihat dari prediksi emisi gas metan di TPA Supit Urang Kota Malang?
- Berapa potensi pendapatan yang diperoleh Pemerintah Kota Malang jika potensi energi listrik dari biogas tersebut dijual ke PLN Kota Malang?
- Bagaimana prioritas kebijakan yang dipilih oleh Pemerintah Kota Malang untuk mengoptimalkan pemanfaatan biogas dalam rangka pengelolaan sampah berkelanjutan di TPA Supit Urang Kota Malang?

1.3. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

- Mengetahui pengelolaan sampah di Kota Malang, khususnya di TPA Supit Urang Kota Malang.
- Mengetahui kondisi pemanfaatan biogas di TPA Supit Urang Kota Malang.
- Mengetahui potensi biogas di TPA Supit Urang Kota Malang, persentase biogas yang sudah dimanfaatkan sebagai bahan bakar gas bagi penduduk di sekitar TPA Supit Urang, dan persentase potensi biogas sebagai energi listrik.
- Memprediksi pengurangan emisi gas rumah kaca dilihat dari prediksi emisi gas metan di TPA Supit Urang Kota Malang?
- Menghitung potensi pendapatan yang diperoleh Pemerintah Kota Malang jika potensi energi listrik dari biogas tersebut dijual ke PLN Kota Malang.
- Mengetahui prioritas kebijakan yang dipilih oleh Pemerintah Kota Malang untuk mengoptimalkan pemanfaatan biogas dalam rangka pengelolaan sampah berkelanjutan di TPA Supit Urang Kota Malang.

1.4. MANFAAT PENELITIAN

Manfaat dari penelitian ini antara lain sebagai berikut:

- Bagi lingkungan, pemanfaatan biogas diharapkan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca seperti emisi gas metan dan gas karbondioksida ke atmosfer sehingga penipisan

lapisan ozon yang berimplikasi terhadap *global warming* dapat diminimalisir. Selain itu, pemanfaatan biogas menjadi sumber energi terbarukan akan mengurangi penggunaan energi yang berasal dari bahan bakar fosil sehingga ketersediaan energi akan terus berlanjut.

- Bagi masyarakat, konversi biogas menjadi bahan bakar gas dan energi listrik memberikan manfaat ekonomis bagi penduduk di sekitar TPA Supit Urang Kota Malang maupun bagi penduduk Kota Malang, sehingga penduduk tidak perlu membeli gas LPG untuk bahan bakar atau membayar energi listrik ke PLN Kota Malang.
- Bagi Pemerintah Kota Malang, penelitian ini berguna untuk rekomendasi pengambilan kebijakan terkait optimalisasi pengelolaan sampah berkelanjutan khususnya dalam pemanfaatan biogas di TPA Supit Urang Kota Malang.

1.5. KEASLIAN PENELITIAN

Daftar penelitian terdahulu yang terkait dengan komponen utama biogas yaitu gas metana ditampilkan pada Tabel 1.2 berikut.

Tabel 1.2. Daftar Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti/Tahun	Judul Penelitian	Isi
1.	Jimmy Tenderson Silalahi (skripsi – 2003 - ITB)	Pengaruh Resirkulasi Lindi, Pencampuran Lumpur Tangki Septik dalam Sampah dan Umur Sampah Terhadap Laju Produksi CH ₄ pada degradasi sampah anaerob.	<ul style="list-style-type: none"> • Degradasi sampah kota secara anaerob dalam reaktor skala lapangan. • Pengaruh pencampuran lumpur tangki septik dalam sampah terhadap laju produksi CH₄.
2.	Achmad Fauzan HS (jurnal – 2007 - UMM)	Prediksi Karakteristik Tempat Pembuangan Akhir Sampah Supit Urang Dan Produksi Gas Metana	<ul style="list-style-type: none"> • Prediksi dan simulasi karakteristik produksi sampah dengan menggunakan <i>Jacob's Single Phase Model</i>. Hasil prediksi menunjukkan bahwa TPA Supit Urang akan terisi penuh dan ditutup pada tahun 2017, dengan asumsi produksi sampah per tahun sebesar 39.980.541 ton dan akumulasi sebesar 3.151.273.375 ton • Prediksi karakteristik produksi gas metan selama beberapa tahun. Puncak produksi metan adalah 12.179.626 m³ per tahun pada 2019. Kemudian produksi akan turun dan akan menjadi 14.784 m³/tahun pada tahun 2065. • Jika dibandingkan dengan Proyek Desain Dokumen yang diusulkan oleh BGP engineer Belanda tahun 2006, produksi limbah per hari 1500 m³ atau hampir 600 ton dapat menghasilkan metan sebesar 51 27%, atau sekitar 118.234.147 m³ per tahun. Potensi tersebut dapat menghasilkan listrik sebesar 5.560.000 kWh/tahun. Dengan harga 0.038 €/kWh maka pendapatan adalah € 211,280/tahun atau setara Rp 2.324.080.000/tahun.

No.	Nama Peneliti/Tahun	Judul Penelitian	Isi
3.	Ari Martyono Indrarto (tesis – 2007 - UNS)	Pengaruh Kematangan Sampah Terhadap Produksi Gas Metana di TPA Putri Cempo Mojosongo	<ul style="list-style-type: none"> • Emisi gas metana dipengaruhi oleh kematangan dan pH sampah. • Suhu sampah dipengaruhi oleh kematangan dan ketebalan sampah.
4.	M. Yusuf Efendi (skripsi – 2008 - UMM)	Kajian Penentuan Kandungan Gas Methan (Studi Kasus: Sel IV Pada Tempat Pembuangan Akhir Supit Urang Kota Malang)	<ul style="list-style-type: none"> • Potensi pembentukan biogas dapat ditingkatkan dengan rekayasa teknik yaitu dengan mengoptimalkan temperatur menjadi 70°C (mesofilik). • Potensi biogas di TPA dipengaruhi oleh aktifitas bakteri metan dan karakteristik materi sampah.
5.	Lilis Purnama Dewi (skripsi – 2008 – UMM)	Studi Kelayakan Penangkapan dan Pemanfaatan Gas Metan Berbasis Clean Development Mechanism (CDM) TPA Supit Urang Malang	<ul style="list-style-type: none"> • Berdasarkan PV Cost pada bunga 10% diperoleh biaya pembangunan TPA sebesar Rp 19.274.860.000,00 didapatkan PV Benefits dengan CDM sebesar Rp 26.050.753.151,72 dan jika tanpa CDM PV Benefits sebesar Rp 13,712,578,498.13. • Analisa sensitifitas menunjukkan bahwa nilainya sangat sensitif terhadap perubahan investasi yang terjadi, tetapi proyek masih layak untuk dikerjakan.
6.	Kurniawan Eko S.Z., Andrian Wahyu Jati, dan Irwin Irhamdi (Karya Tulis Ilmiah - 2009 – Universitas Brawijaya)	Penanganan Sampah Organik Skala Rumah Tangga Sebagai Upaya Pengadaan Sumber Energi Terbarukan	<ul style="list-style-type: none"> • Proses pengolahan sampah menjadi sumber energi dan pembuatan biogas dengan reaktor skala rumah tangga.

No.	Nama Peneliti/Tahun	Judul Penelitian	Isi
7.	Isti Surjandari, Akhmad Hidayatno, Ade Supriatna (jurnal – 2009 - UI)	Model Dinamis Pengelolaan Sampah untuk Mengurangi Beban Penumpukan	<p>Analisis pengelolaan sampah untuk mengurangi beban penumpukan di TPA Bantar Gebang dengan simulasi. Hasil simulasi bertujuan untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Melihat kelayakan alternatif pengelolaan sampah berdasarkan perhitungan Cost Benefit Ratio (B/C) • Mengetahui pandangan masyarakat tentang alternatif pengelolaan sampah ditinjau dari aspek sosial, ekonomi, lingkungan, dan teknis melalui pembobotan dengan AHP.
8.	Freco Yudha Ananta Noer (jurnal - 2010 - UMM)	Pengaruh Panjang Pipa Penangkap Gas Hasil Pembuangan Sampah Organik Terhadap Volume Gas <i>Landfill</i> (Studi Kasus pada TPA Supit Urang Kota Malang)	<p>Menguji apakah kedalaman pipa dan waktu pengambilan berpengaruh terhadap kapasitas gas <i>landfill</i> yang dihasilkan. Kapasitas gas terbesar didapatkan dari pipa yang mempunyai konstruksi bagus dengan kedalaman sebesar 3m.</p>
9.	Handono, Mulyo (tesis – 2010 - IPB)	Model Pengelolaan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah secara Berkelanjutan di TPA Cipayung Kota Depok-Jawa Barat	<ul style="list-style-type: none"> • Menjelaskan tentang kualitas lingkungan, ekonomi, sosial, dan kondisi kesehatan masyarakat di sekitar TPA. • Menganalisis strategi kebijakan yang berkaitan dengan pengelolaan TPA Cipayung. • Untuk mendesain alternatif kebijakan pengelolaan TPA Cipayung dengan analisis AHP, mendeskripsikan kualitas sumur, air lindi, BAP, microbiologi, serta menganalisis Simulasi model sistem dinamik menggunakan software Stella versi 8.

No.	Nama Peneliti/Tahun	Judul Penelitian	Isi
10.	Irma Winayanti (skripsi – nd – 2010)	Studi Produksi Gas Metan (CH ₄) dan Karbondioksida (CO ₂) dari Timbunan Sampah	<ul style="list-style-type: none"> • Pengukuran produksi gas metan dan karbondioksida dengan variasi berat sampah dan kedalaman timbunan sampah. • Volume gas metan dan gas karbondioksida terbesar pada kedalaman timbunan sampah 50 cm dengan berat sampah 15 kg masing-masing sebesar 2,25 cm³ dan 1,84 cm³.
11.	Muhammad Suudi (tesis – 2010 - UMM)	Penentuan Konsentrasi Gas Metan Sebagai Suplai Pada Pembakaran Flaring Sistem (Studi Kasus di TPA Supit Urang Malang)	<ul style="list-style-type: none"> • Pengukuran konsentrasi gas metan dengan perubahan variasi waktu dan musim yang diperlukan untuk pembakaran flaring sistem. • Konsentrasi gas metan pada saat pagi dan sore hari di musim hujan lebih tinggi dibanding pada saat musim panas dan di siang hari saat musim hujan.
12.	Zamzami Septiropa, A. Fauzan H.S., Moch. Zainuddin (jurnal – 2011 - UMM)	Optimasi Sudut Ujung Pipa Penangkapan Gas Metana Pada Metode Arrow System	Metode <i>Arrow System</i> merupakan alternatif pembuatan sumur ekstraksi gas di TPA Supit Urang dengan sudut optimum anak panah untuk kekuatan penetrasi tiang adalah 30°.
13.	Dewi Ratnawati (skripsi – 2013 - Universitas Negeri Papua Manokwari)	Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca Senyawa Metana (CH ₄) pada Limbah Padat Domestik di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Kabupaten Manokwari	<ul style="list-style-type: none"> • Hasil estimasi potensi metana menggunakan metode IPCC pada <i>open dumping</i> dan <i>open burning</i> tahun 2012 sebesar 7,3 Gg atau 7.300.000 kg sedangkan pada tahun 2022 sebesar 11,15 Gg atau 11.150.000 kg. • Kemungkinan pemanfaatan senyawa metana tersebut.

No.	Nama Peneliti/Tahun	Judul Penelitian	Isi
14.	Letisa Indah Lestari, Juli Soemirat, Mila Dirgawati (jurnal – 2013 - Itenas)	Penentuan Konsentrasi Gas Metan di Udara Zona 4 TPA Sumur Batu Kota Bekasi	<ul style="list-style-type: none"> • Konsentrasi gas metan diukur dengan menggunakan gas detector. • Rata-rata konsentrasi gas metan di zona 4 adalah 433.434,572 g/m³, lebih besar dibandingkan baku mutu dari Amerika Serikat sebesar 160 g/m³. Oleh karena itu, perlu pengelolaan dan pemanfaatan gas metan di zona tersebut untuk mengurangi efek gas rumah kaca.
15.	Monice dan Syafii (jurnal – 2013 – Universitas Andalas)	Operasi Ekonomis (Economic Dispatch) Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) dan PLTG dalam Melayani Beban Puncak Kelistrikan Sumbar.	<ul style="list-style-type: none"> • Sampah dapat menjadi bahan bakar pengganti bahan bakar fosil untuk PLTSa. PLTSa dimanfaatkan pada beban puncak dapat menghemat energi fosil 7.242.000 kw per tahun.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi dan Timbulan Sampah

Sampah adalah bahan yang tersisa dan tidak dikehendaki dalam proses produksi atau hasil buangan dari manusia atau alam (Tchobanoglous dan Kreith, 2002). Sampah adalah bahan yang tidak bernilai/tidak berharga, merupakan barang cacat atau ditolak dalam proses produksi (Imam dan Rijaluzzaman, 1994). Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat.

Damanhuri dan Padmi (2010) menyatakan bahwa beberapa studi memberikan angka timbulan sampah kota di Indonesia berkisar antara 2 - 3 liter/orang/hari dengan densitas 200 - 300 kg/m³ dan komposisi sampah organik 70 - 80%. Besaran rata-rata timbulan sampah dan komposisinya dipengaruhi oleh berbagai faktor. Menurut Departemen Kesehatan RI (1987), jumlah sampah dipengaruhi oleh beberapa faktor selain aktifitas penduduk diantaranya sistem pengelolaan sampah, teknologi, musim dan waktu, kepadatan penduduk, kebiasaan penduduk, tingkat sosial ekonomi serta keadaan geografi.

2.2. Karakteristik Sampah

Damanhuri dan Padmi (2010) menyatakan bahwa karakteristik sampah dapat diklasifikasikan menurut sifat-sifatnya, yaitu:

- a. Karakteristik fisika seperti densitas, kadar air, kadar volatil, kadar abu, nilai kalor, dan distribusi ukuran.
- b. Karakteristik kimia menggambarkan susunan kimia sampah seperti adanya unsur C, N, O, P, H, S, dan lain-lain.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah menyatakan bahwa karakteristik sampah yang dikelola meliputi sampah rumah tangga, sampah sejenis sampah rumah tangga, dan sampah spesifik. Sampah rumah tangga berasal dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga, tidak termasuk tinja dan sampah spesifik. Sampah sejenis sampah rumah tangga berasal dari kawasan komersial, kawasan industri, kawasan khusus, fasilitas sosial, fasilitas umum, dan/atau fasilitas lainnya. Sampah spesifik meliputi sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun, sampah yang

mengandung limbah bahan berbahaya dan beracun, sampah yang timbul akibat bencana, puing bongkaran bangunan, sampah yang secara teknologi belum dapat diolah, dan/atau sampah yang timbul secara tidak periodik.

Komposisi dari sampah perkotaan sangat berhubungan erat dengan gaya hidup masyarakat dan pertumbuhan ekonomi (Eddine dan Salah, 2012). Secara garis besar sampah digolongkan menjadi tiga yaitu sampah organik, sampah anorganik, dan sampah B3 (Bahan Beracun dan Berbahaya). Sampah organik mampu terdegradasi secara alami karena berasal dari makhluk hidup seperti dedaunan, sisa sayuran, sisa buah-buahan, dan sisa makanan. Sampah anorganik adalah sampah yang tidak dapat terdegradasi secara alami seperti plastik, kaleng, karet, logam, dan sebagainya. Sedangkan sampah B3 berasal dari limbah zat-zat kimia yang beracun dan berbahaya bagi seperti pada limbah rumah sakit, sehingga sampah ini perlu penanganan khusus (Sejati, 2009).

Tabel 2.1. Komposisi Sampah Organik dan Nilai Kalornya di Eropa

No.	Jenis Sampah	Persentase (%)	Nilai Kalor (MJ/kg)	Total Kalor (MJ/ton)
1.	Sampah daun	17	5,7	969
2.	Sampah sayur dan buah	43	14,2	6.106
3.	Kertas	3	15,6	468
4.	Tekstil	5	36,8	1.840
5.	Kotoran	12	6,9	828
6.	Macam-macam	2	18,1	362
Total Nilai Kalor			82	10.573

Sumber: Wilde, D dan Van, Hille (1986) dalam Sudrajat (2006)

Sudrajat (2006) menyatakan bahwa persentase sampah organik di Eropa sekitar 82%, dan dari persentase tersebut sebanyak 83% mudah terurai serta sisanya 17% sulit terurai.

2.3. Pengelolaan Sampah Berkelanjutan

Sistem pengelolaan sampah terpadu dapat diterapkan mulai dari sumber sampah, pengumpulan, pengangkutan, pengolahan antara di TPS, dan pengolahan akhir di TPA. Proses daur ulang dalam sistem pengolahan sampah terpadu dipengaruhi oleh enam aspek yaitu aspek teknologi, aspek partisipasi masyarakat (sosial), aspek ekonomi dan financial, aspek hukum dan peraturan, aspek organisasi dan manajemen, dan aspek operasional (Sucipto, 2012).

BPPT (2007) mengemukakan tentang 3 asumsi dasar yang harus dilakukan untuk pengelolaan sampah yang berkelanjutan adalah sebagai berikut:

- a. Pemilahan sampah sehingga bisa dijadikan kompos atau didaur ulang dengan menerapkan konsep 4R (*Reduce, Reuse, Recycle, dan Replace*).
- b. Peran industri untuk mendesain ulang produk yang dihasilkan agar lebih mudah untuk didaur ulang kembali.
- c. Program-program pengelolaan persampahan kota harus disesuaikan dengan kondisi fisik, ekonomi, hukum, dan budaya setempat untuk mencapai keberhasilan.

Tiga komponen pembangunan yang merupakan satu kesatuan dalam pembangunan berkelanjutan meliputi ekologi, ekonomi, dan sosial budaya. (Muschett, 1997 dalam Kristiyanto, 2007). Hal ini juga diterapkan dalam pengelolaan persampahan. Ekologi artinya pengelolaan persampahan tetap menjamin keberlanjutan ekosistem dan daya dukung lingkungan. Ekonomi artinya hasil pengelolaan persampahan dapat memberikan keuntungan dan manfaat ekonomi bagi daerah dan masyarakat. Sosial budaya artinya perlunya partisipasi dan pemberdayaan masyarakat dalam pengelolaan persampahan.

Lima prinsip dasar untuk membangun kota yang berkelanjutan adalah *ecology* (lingkungan), *economy* (kesejahteraan), *equity* (pemerataan), *engagement* (peran serta), dan *energy* (Budiharjo, 2005 dalam Kristiyanto, 2009).

2.4. Proses Fermentasi Sampah Organik

Sampah organik dapat memberikan manfaat antara lain mengurangi sampah, mencegah pencemaran lingkungan, mendapatkan biogas sebagai sumber energi terbarukan, dan mendapatkan pupuk organik cair (Sucipto, 2012). Sampah organik juga dapat menghasilkan kompos.

Proses fermentasi sampah organik menguraikan bahan organik menjadi komponen yang lebih sederhana. Fermentasi sampah ada yang bersifat aerobik (memerlukan oksigen), anaerobik (tanpa oksigen), dan fakultatif (dengan dan tanpa oksigen) (Sudrajat, 2006).

Proses fermentasi sampah dapat menghasilkan kompos sehingga disebut proses pengomposan. Prinsip pengomposan adalah menurunkan rasio C/N (perbandingan unsur karbon dan nitrogen) bahan organik hingga sama dengan C/N tanah yaitu kurang dari 15 (Sudrajat, 2006).

Menurut Sucipto (2012), proses pengomposan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya nilai C/N sampah, ukuran sampah, komposisi sampah, jumlah mikroorganisme, kelembaban dan aerasi, temperatur, dan pH. Proses pengomposan lebih cepat jika C/N

sampah semakin rendah, sampah organik berukuran lebih kecil, komposisi sampah organik dari tumbuhan yang ditambah dengan kotoran hewan, jumlah mikroorganisme yang banyak, kelembaban sekitar 40 - 60%, temperatur sekitar 30 - 50°C, serta pH sekitar 6,5 - 7,5. Saputro, dkk (2006) menyatakan bahwa rasio C/N untuk pembuatan biogas antara 20 - 25, sedangkan pada sampah rasio C/N di atas 40. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya untuk menurunkan rasio C/N dengan menambahkan sumber N baru yang berasal dari kotoran maupun pupuk (urea).

Sampah rumah tangga sebesar 1000 liter atau 300 kg dapat menghasilkan 50% - 60% gas metan dan sisanya gas karbondioksida. Biogas dapat dihasilkan dalam waktu satu bulan. Popov (2005) dalam Abreu, dkk (2011) menyatakan bahwa proses anaerobik terjadi dalam 10 – 50 hari.

Secara teori 1 kg TOC menghasilkan 1,87 m³ biogas. Persamaan reaksi pembentukan gas metan adalah:



Berat atom karbon adalah 12, sehingga produksi biogas dari 1 kg karbon adalah:

$$= 0,5 \times 1/12 \text{ kmol } CH_4 + 0,5 \times 1/12 \text{ kmol } CO_2$$

$$= 1/12 \text{ kmol gas}$$

$$= 1/12 \times 22,4 \text{ m}^3/\text{kmol}$$

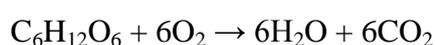
$$= 1,87 \text{ m}^3/\text{kg karbon}$$

dimana 1 kmol setara dengan 22,4 m³ gas (pada 1 atm, 30°C) (Sucipto, 2012).

Bakteri sangat berperan pada proses fermentasi sampah. Dalam menguraikan sampah organik, bakteri bersinergi satu sama lain atau disebut *effective microorganism* (EM). Aktivator dan cacing tanah juga dapat mempercepat pengomposan. Orgadec, Harmony, EM-4, Fix-up Plus, dan Stardec adalah beberapa aktivator yang tersedia di pasaran. Aktivator EM4 memiliki sekitar 80 genus mikroorganisme fermentasi, tetapi lima golongan yang pokok adalah bakteri *Fotosintetik*, *Actinomycetes*, *Streptomyces sp*, Ragi (yeast), dan *Streptomyces sp* (Sucipto, 2012).

2.4.1. Pengomposan Aerobik

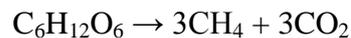
Pengomposan aerobik adalah proses pengomposan yang melibatkan adanya unsur oksigen. Reaksi kimia pengomposan aerobik adalah:



Faktor yang berpengaruh dalam pengomposan aerobik adalah jenis sampah, ukuran sampah, kandungan air dan aerasi, serta suhu (Sudrajat, 2006).

2.4.2. Pengomposan Anaerobik

Menurut Sudrajat (2006), proses pengomposan anaerobik ini harus terjadi pada reaktor tertutup. Kompos yang dihasilkan perlu diproses lebih lanjut dengan pengepresan dan pengeringan untuk mengurangi kadar air. Reaksi kimia pada proses tersebut adalah:



Sudrajat (2006) mengemukakan bahwa proses pengomposan anaerobik melalui 4 tahap:

1. Proses Hidrolisis

Pada proses ini terjadi dekomposisi bahan organik polimer menjadi monomer yang mudah larut serta dihasilkan asam amino, volatile acid, gliserol, dan lain-lain. Lemak diuraikan oleh *lipolytic bacteria* dengan enzim lipase, karbohidrat diuraikan oleh *cellulotic bacteria* dengan enzim selulose, dan protein diuraikan oleh *proteolytic bacteria* dengan enzim protease.

2. Proses Asidogenesis

Pada proses ini terjadi dekomposisi monomer organik menjadi asam-asam organik (seperti asam format, asetat, butirrat, propionat, valeriat) dan alkohol oleh *acidogenic bacteria*. Selain itu dihasilkan CO_2 , H_2 , serta metanol.

3. Proses Asetogenesis

Pada proses ini, asam organik dan alkohol diubah menjadi asam asetat, format, methanol, CO_2 , dan H_2 oleh *acetogenic bacteria*

4. Proses Metanogenesis

Pada proses ini asam asetat diubah menjadi CH_4 , CO_2 , dan H_2O oleh *metanogenic bacteria*. Hampir sekitar 70% gas metana dibentuk dari asam asetat sedangkan sisanya 30% dari asam format, CO_2 , dan H_2 .

Proses pengomposan anaerobik dipengaruhi oleh jenis sampah, suhu, pH, dan toksisitas. Jenis sampah dikaitkan dengan nilai nisbah C/N/P dimana nilai nisbah ideal adalah 150:5:1. Sedangkan suhu mempengaruhi aktifitas bakteri umumnya bakteri aktif pada suhu mesofilik ($30 - 35^\circ\text{C}$), sebagian pada suhu termofilik ($50 - 55^\circ\text{C}$). *Metanogenic bacteria* hanya sedikit yang mampu bekerja pada suhu termofilik, sehingga perlu ditetapkan suhu yang ideal pada fase termofilik tersebut. Sedangkan pH terkait dengan aktifitas bakteri. *Acidogenic bacteria*

bekerja optimum pada pH 6 – 7, sedangkan *metanogenic bacteria* bekerja optimum pada pH 7 – 7,2. Toksisitas terkait dengan ion alkali yang dapat menghambat proses anaerobik, kecuali pada tahap methanogenesis. Ion sulfat menyebabkan bakteri pengonsumsi sulfat mengalahkan dominasi *methanogenic bacteria* pada akhir proses pengomposan (Sudrajat, 2006).

Sudrajat (2006) juga mengemukakan bahwa ada tiga jenis proses pada pengomposan anaerobik, yaitu proses konvensional (*conventional digestion*), proses 2 tahap (*two-phase digestion*), dan proses kering (*dry anaerobik digestion*).

1. Proses Konvensional

Bahan organik yang sangat encer (3 – 5% TS) diberi inokulum kotoran sapi secukupnya dan diaduk rata dalam reaktor (digester) tertutup. Biogas akan terbentuk setelah larutan dibiarkan selama 20 – 30 hari. Bahan padat yang tersisa harus dilakukan pengepresan dan pengeringan agar menjadi kompos. Pada proses ini, biogas yang terbentuk sangat sedikit, dan sering terjadi scum (lapisan padat di permukaan larutan) yang dapat menghambat keluarnya gas. Produksi biogas terbesar yang pernah dicapai di luar negeri pada proses ini adalah 0,43 – 0,53 m³/kg VS atau 1,3 – 1,6 m³ CH₄/m³r.d.

2. Proses Dua Tahap

Proses ini dilakukan pada reaktor terpisah. Tahap pertama adalah pelarutan (*liquefaction*) yaitu gabungan proses hidrolisis, asidogenesis, dan asetogenesis. Sedangkan tahap kedua adalah gasifikasi atau proses metanogenesis. Waktu yang dibutuhkan reaktor 1 hanya 3 hari dan reaktor 2 hanya 5 hari. Prosesnya adalah adanya perlakuan pendahuluan dengan memanaskan substrat (15% TS) sampai suhu 60°C selama 3 jam dengan pH 9,8 kemudian didiamkan selama 1 hari. Kemudian pelarutan pada reaktor 1 dengan suhu 60°C dan pH 6 selama 2 hari. Selanjutnya larutan masuk ke reaktor 2 dengan suhu 60°C dan pH 7,5 – 8,2 selama 5 hari. Sisa bahan padat dipres dan dikeringkan agar menjadi kompos. Hasil uji coba pada reaktor 1 dengan kapasitas 0,5 m³ dan reaktor 2 kapasitas 1,5 m³, *loading rate* 9,4 kg VS/m³r.d menghasilkan 3,2 m³ CH₄/m³r.d. Proses ini membutuhkan biaya operasional dan investasi yang tinggi.

3. Proses Kering

Proses ini terjadi pada substrat dengan konsentrasi TS lebih tinggi dari 20%. Sampah kota di *landfill* bagian bawah dengan kadar TS 40 – 70% dapat memproduksi biogas. Produksi biogas *landfill* umumnya sekitar 200 liter per kg TS sampah, tetapi yang dapat

didaur ulang hanya 20 – 25% (40 – 50 liter). Sebagai contoh *landfill* di Jerman dengan luas area 16 ha, kedalaman 40 m, kapasitas penampungan sampah 3,4 juta m³ dan baru terisi 2/3 bagiannya. Biogas dikeluarkan melalui pipa-pipa vertical dan menghasilkan 1.200 m³ biogas per jam (50% CH₄) menghasilkan energi listrik berkapasitas 288 kW dengan 2 buah generator. Kasus yang sama juga terjadi di Swiss dengan luas area 10 ha, daya tampung 3 juta m³ dapat menghasilkan listrik 260 kW dengan 4 buah generator.

Proses ini dapat dilakukan pada suatu reaktor yang disebut Dranco (*Dry Anaerobik Conversion Process*) yang dikembangkan oleh Prof. Willy Verdraete dari Rijksuniversiteit Gent di Belgia pada tahun 1985. Kelebihan proses dranco adalah dapat menghasilkan biogas yang banyak dan kompos yang terbentuk bebas dari hama penyakit.

2.5. Biogas

Biogas dihasilkan dari proses dekomposisi sampah secara anaerobik. Popov (2005) dalam Abreu, dkk (2011) menyatakan bahwa proses anaerobik terjadi dalam 10 – 50 hari. Biogas merupakan campuran gas metana dengan gas-gas lain seperti CO₂ dan H₂S (Sudrajat, 2006). Biogas di TPA terdiri dari 55 - 65% CH₄, 35 - 45% CO₂, 0 - 1% N₂, 0 - 1% H₂, dan 0 - 1% H₂S (Polprasert, 1996 dalam Abreu, dkk, 2011). Komposisi biogas seperti disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Komposisi Biogas

Komponen	%
Metana (CH ₄)	55 – 75
Karbondioksida (CO ₂)	25 – 45
Nitrogen (N ₂)	0 - 0,3
Hidrogen (H ₂)	1 – 5
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	0 – 3
Oksigen (O ₂)	0,1 - 0,5

Sumber: Sucipto (2012)

Gas metana merupakan komponen utama dari biogas. Pada suhu ruangan dan tekanan standar, gas ini tidak berwarna dan tidak berbau. Gas ini memiliki sifat mudah terbakar. Sedangkan metana dalam bentuk cair (*liquid methane*) dapat dibakar pada tekanan tinggi sekitar 4-5 atmosfer (Syafputri, 2012). Menurut Sudrajat (2006), komposisi dan nilai kalor biogas antara lain:

CH ₄	: 50 – 85%
CO ₂	: 15 – 50%
H ₂ S	: <1%

Nilai Kalor : 20 – 25 MJ/m³ (47.000 – 8.000 kkal/m³)

Tabel 2.3. Kesetaraan Biogas dengan Sumber Energi Lain

Bahan Bakar	Jumlah
Biogas	1 m ³
Elpiji	0,46 kg
Minyak Tanah	0,62 liter
Minyak Solar	0,52 liter
Bensin	0,80 liter
Gas Kota	1,50 m ³
Kayu Bakar	3,50 kg

Sumber: Sucipto (2012)

Jika kebutuhan minyak tanah dapat digantikan oleh biogas maka dapat mengurangi sekitar 357 – 60.952 ton emisi karbon (Akinbami, dkk, 2001 dalam Ngumah, 2013). Konversi biogas dan penggunaannya dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4. Konversi Biogas dan Penggunaannya

Penggunaan	Energi 1 m ³ Biogas
Penerangan	Lampu 60 – 100 watt selama 6 jam
Memasak	Memasak 3 jenis makanan untuk 5 – 6 orang
Tenaga	Menjalankan motor 1 hp selama 2 jam
Listrik	4,7 kWh energi listrik

Sumber: Suriawiria (2005) dan Suhendra (2008) dalam Hanif (nd)

Setiap 1 m³ biogas dapat digunakan untuk memasak selama 3 jam (Price dan Cheremisinoff, 1981 dalam Mudhita, 2013).

2.6. Perhitungan Potensi Biogas

Metode perhitungan energi untuk *anaerobik digestion* (Frear, *et al* dalam Sulisty, 2010) menurut artikel dalam *Biomass Inventory and Bioenergy Assessment An Evaluation of Organic Material Resources for Bioenergy Production in Washington State* oleh Craig Frear, Bingcheng Zhao, Guobin Fu, Michael Richardson, dan Shulin Chen, *Department of Biological Systems Engineering Washington State University* dan Mark R. Fuchs *Solid Waste & Financial Assistance Program, Department of Ecology Spokane*, yang diterbitkan oleh *Departmen Ecology Washington* adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan jumlah dari *total solid (TS)*, *volatile solid (VS)* dan produksi biogas dalam proses *anaerobik digestion*.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan oleh Tanya McDonald, Gopal Achari, dan Abimbola Abiola dalam artikel *Feasibility of increased biogas production from the co-digestion of agricultural, municipal, and agro-industrial wastes in rural communities*,

dengan pengujian produksi biogas berbahan baku sampah organik, diperoleh nilai konversi sampah organik menjadi TS dan VS sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut (Sulistyo, 2010):

$$TS = 27,7\% \times Q \quad (1)$$

$$VS = 74,1\% \times TS \quad (2)$$

$$VBS = 0,676 \times VS \quad (3)$$

keterangan:

Q = potensi sampah (kg/hari)

TS = *total solid* (kg/hari)

VS = *volatile solid* (kg/hari)

VBS = volume produksi biogas (m³/hari)

2. Perhitungan Jumlah Gas Metan yang Dihasilkan

Untuk menghitung jumlah potensi energi listrik yang dihasilkan dalam suatu proses *anaerobik digestion*, jumlah gas metan merupakan parameter yang berkaitan langsung dengan jumlah energi listrik, sedangkan gas lain tidak berhubungan dengan proses tersebut. Jumlah gas metan yang dihasilkan berdasarkan jumlah *volatile solid* (VS) untuk 1 kg campuran sampah organik adalah sebagai berikut (Muthupandi, 2007 dalam Sulistyo, 2010):

$$VGM = 60\% \times VBS \quad (4)$$

keterangan:

VGM = volume gas metan (m³/hari)

VBS = volume produksi biogas (m³/hari)

3. Perhitungan Potensi Energi Listrik yang Dihasilkan

Untuk menghitung potensi energi listrik yang dihasilkan, maka potensi gas metan dalam m³ harus disetarakan dalam satuan energi listrik (kWh). Dalam Buku *Renewable Energy Conversion, Transmission and Storage* karya Bent Sorensen (2007), bahwa 1 m³ gas metan setara dengan 33.810 x 10³ J, sedangkan 1 kWh setara dengan 3,6 x 10⁷ J, sehingga 1 m³ gas metan menghasilkan energi listrik sebesar 9,39 kWh (Sorensen, 2007 dalam Sulistyo, 2010).

Tabel 2.5. Konversi Energi Gas Metan Menjadi Energi Listrik

Jenis Energi	Setara Energi
1 Kg Gas Metan	6,13 x 10 ⁷ J
1 kWh	3,6 x 10 ⁶ J
1 m ³ Gas Metan	9,39 kWh

Sumber: Sulistyo (2010)

$$E = \text{VGM} \times \text{FK} \quad (5)$$

Keterangan:

E = energi listrik (kWh)

Popov (2005) dalam Abreu, dkk, (2011) menyatakan bahwa CH₄ dan CO₂ dapat dihasilkan sampai dengan 20 tahun, tetapi emisi gas-gas tersebut dapat berlanjut hingga 50 tahun bahkan lebih. Menurut Sudrajat (2006), Produksi biogas dari *landfill* melalui tahapan berikut:

- Tahun 1 : Produksi N₂ sangat dominan, sedangkan CO₂, O₂, dan H₂ sedikit
- Tahun 2 : Produksi N₂ menurun dan habis, produksi CO₂ meningkat mencapai peak tertinggi, produksi H₂ meningkat hingga maksimum.
- Tahun 3 : Produksi biogas hingga mencapai peak tertinggi, produksi CO₂ menurun dan stabil, produksi N₂ dan H₂ menurun dan habis.
- Tahun 4 sampai 15 : Produksi biogas pada peak maksimum secara konstan, tahun ke depan produksi CO₂ juga konstan di bawah kapasitas biogas.
- Tahun ke-20 : Produksi biogas menurun dan habis. Produksi N₂ dan O₂ mulai lagi dengan level N₂ lebih tinggi dibanding O₂.

Komposisi gas yang berada di *landfill* disajikan pada Tabel 2.6 berikut ini.

Tabel 2.6. Komposisi Gas *Landfill*

Komposisi	Persentase (%)
Metan	63,6
Karbondioksida	33,6
Oksigen	0,16
Nitrogen	2,4
Hidrogen	< 0,05
Karbonmonoksida	< 0,001
Lain-lain: hidrokarbon jenuh dan tak jenuh, gas sulfur organik, alkohol	< 0,006

Sumber: Anonim (1987) dalam Sudrajat (2006)

Dari Tabel 2.6 dapat dilihat bahwa komposisi gas *landfill* didominasi oleh gas metan dengan persentase sebesar 63,6%, kemudian gas karbondioksida dengan persentase sebesar 33,6%, dan sisanya oleh gas lain seperti nitrogen, hidrogen, karbonmonoksida, hidrokarbon jenuh dan tak jenuh, gas sulfur organik, dan alkohol.

2.7. Prediksi Emisi Gas Metan

Model matematika untuk mengestimasi produksi emisi gas metan adalah dengan metode LandGEM (*Landfill Gas Emission Model*) yaitu (USEPA, 2005):

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) (e^{-kt_{i,j}}) \quad (6)$$

dimana:

Q_{CH_4} = perkiraan produksi gas metan per tahun (m^3 /tahun)

i = penambahan waktu setiap tahun

n = jumlah tahun prediksi

j = 0, 1 penambahan tahun

k = konstanta pembentukan gas metan (1/tahun)

L_0 = kapasitas potensial gas metan yang dihasilkan (m^3 /Megagram)

M_i = massa sampah dalam tahun ke- i (Mg)

$t_{i,j}$ = umur dari massa sampah (di TPA) selama tahun ke- i

Penentuan emisi gas metan dengan model LandGEM berdasarkan sampah organik yang ada di TPA. Model LandGEM merupakan alat yang berguna untuk memperkirakan emisi gas rumah kaca yang reliabel. Model ini lebih mudah digunakan untuk negara yang memiliki keterbatasan data terkait sampah domestik di TPA (Chalvatzaki dan Lazaridis, nd).

Model LandGEM mengasumsikan bahwa sampah dianggap homogen, nilai k dan L_0 bersifat konstan (Karanjekar, 2012). Berdasarkan CAA (*Clean Air Act*) Regulation sebagaimana ditetapkan dalam AP-42, nilai k , L_0 dan konsentrasi NMOC (*Non Methane Organic Compounds*) sudah ditetapkan dengan nilai :

k = 0.05 (tahun^{-1})

L_0 = 170 m^3 /Megagram

Konsentrasi NMOC = 4000 ppmv hexane

Dengan volume gas metan sebesar 50% dari total volume gas yang dihasilkan di TPA.

2.8. Potensi Energi Listrik

Gas metan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Sebagai contoh Perusahaan North Sea Gas di Inggris mampu menghasilkan gas metan dengan kadar 97% dan nilai kalor 34 MJ/m^3 . Pemanfaatannya mampu menggantikan kebutuhan energi nasional sebesar 1% (Sudrajat, 2006).

Biogas yang akan dimanfaatkan sebagai energi listrik harus diberi perlakuan untuk meningkatkan kualitas dan sebagai akibat adanya efisiensi. Kestabilan tingkat efisiensi dapat dicapai dengan memasang blower sehingga aliran biogas dapat memberikan energi yang cukup (Pierpaoli dan Diotallevi, 2007). Konversi biogas menjadi energi listrik memiliki tingkat efisiensi 30 – 40% (eurelectric, 2003).

Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2012 tentang Harga Pembelian Tenaga Listrik Oleh PT PLN (Persero) dari Pembangkit Tenaga Listrik yang Menggunakan Energi Terbarukan Skala Kecil dan Menengah Atau Kelebihan Tenaga Listrik, pasal 1 ayat 1 menjelaskan bahwa “PT PLN (Persero) wajib membeli tenaga listrik dari pembangkit tenaga listrik yang menggunakan energi terbarukan skala kecil dan menengah dengan kapasitas sampai dengan 10 MW atau kelebihan tenaga listrik (*excess power*) dari badan usaha milik negara, badan usaha milik daerah, badan usaha swasta, koperasi dan swadaya masyarakat guna memperkuat sistem penyediaan listrik setempat”.

Di dalam pasal 3 ayat 3 dijelaskan bahwa “Harga pembelian tenaga listrik sebagaimana dimaksud pada pasal 1 apabila berbasis sampah kota menggunakan teknologi *zero waste*, ditetapkan sebagai berikut:

- a. Rp 1.050/kWh, jika terinterkoneksi pada Tegangan Menengah;
- b. Rp 1.398/kWh, jika terinterkoneksi pada Tegangan Rendah.”

Pada ayat 4 dijelaskan lebih lanjut bahwa “*Zero waste* sebagaimana dimaksud pada ayat 3 merupakan teknologi pengelolaan sampah sehingga terjadi penurunan volume sampah yang signifikan melalui proses terintegrasi dengan gasifikasi atau incinerator dan anaerob”.

Pada ayat 5 dijelaskan “Harga pembelian tenaga listrik sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 apabila berbasis sampah kota dengan teknologi *sanitary landfill*, ditetapkan sebagai berikut:

- a. Rp 850/kWh, jika terinterkoneksi pada Tegangan Menengah;
- b. Rp 1.198/kWh, jika terinterkoneksi pada Tegangan Rendah.”

Berikutnya diperjelas pada ayat 6 bahwa “Teknologi *sanitary landfill* sebagaimana dimaksud pada ayat 5 merupakan teknologi pengolahan sampah dalam suatu kawasan tertentu yang terisolir sampai aman untuk lingkungan.”

Jika gas metana akan dikonversi menjadi sumber energi listrik harus dimurnikan dari H₂O, CO₂, dan H₂S karena CO₂ menyebabkan endapan karbon sedangkan H₂S dapat

menimbulkan karat (Sudrajat, 2006). Namun jika dimanfaatkan untuk bahan bakar gas (kompor) dapat langsung digunakan.

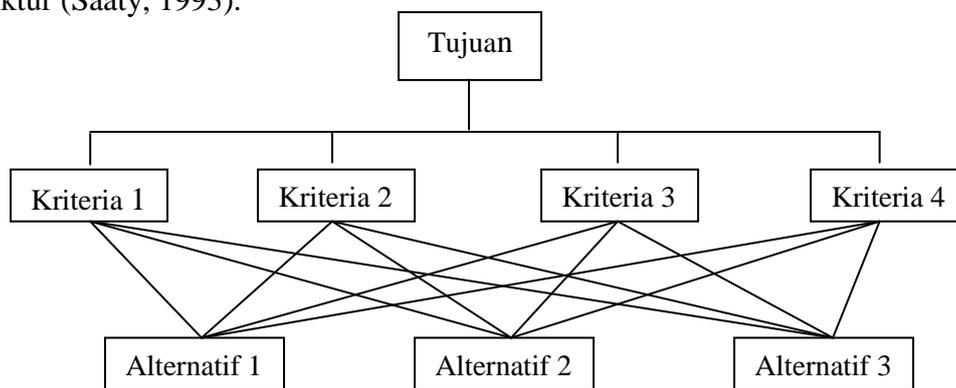
Menurut Sudrajat (2006), cara pemurnian gas metana tersebut antara lain:

1. H₂O dihilangkan dengan cara mengalirkan gas melalui tabung yang berisi kalsium klorida atau menginstal *condensation trap* pada bagian bawah tabung penampung gas.
2. CO₂ dihilangkan dengan meniup gas melalui larutan kapur atau larutan NaOH encer.
3. H₂S dihilangkan dengan cara mengalirkan gas melalui tabung yang berisi serbuk besi. Sulfur akan ditangkap oleh ferik oksida menjadi ferik sulfida.

Cara termudah yang banyak diaplikasikan di USA adalah mengalirkan gas melalui aliran air dengan tekanan tinggi dapat menghasilkan metan dengan tingkat kemurnian 95% (Sudrajat, 2006).

2.9. Analysis Hierarchy Process (AHP)

Analitycal Hierarchy Process (AHP) dikembangkan oleh Thomas L. Saaty. Model yang digunakan sebagai pendukung keputusan ini menguraikan masalah multi kriteria yang kompleks menjadi suatu hierarki. Hierarki merupakan suatu representasi permasalahan yang kompleks dalam struktur multi level. Tujuan menempati level pertama, diikuti level faktor, kriteria, sub kriteria, dan seterusnya hingga level terbawah dari alternatif. Kompleksitas masalah dapat diuraikan menjadi sebuah hierarki sehingga akan lebih sistematis dan terstruktur (Saaty, 1993).



Gambar 2.1. Susunan Hierarki

Kelebihan-kelebihan dalam AHP adalah (Saaty, 1993):

- a. Kesatuan (*Unity*): menjadikan suatu permasalahan yang kompleks dan tidak terstruktur menjadi sebuah model yang mudah dipahami.
- b. Kompleksitas (*Complexity*): konsep pemecahan masalah yang kompleks melalui pendekatan sistem dan pengintegrasian secara deduktif.

- c. Saling ketergantungan (*Inter Dependence*): dapat digunakan pada elemen-elemen sistem yang saling bebas dan tidak memerlukan hubungan linier.
- d. Struktur Hierarki (*Hierarchy Structuring*): mengelompokkan elemen sistem ke level-level yang berbeda dari masing-masing level berisi elemen yang serupa.
- e. Pengukuran (*Measurement*): menyediakan skala pengukuran dan metode untuk mendapatkan prioritas.
- f. Konsistensi (*Consistency*): mempertimbangkan konsistensi logis dalam penilaian yang digunakan untuk menentukan prioritas.

Kelemahan metode AHP adalah sebagai berikut (Saaty, 1993):

1. Ketergantungan model AHP pada input utamanya yang merupakan persepsi dari para ahli sehingga adanya unsur pelibatan subyektifitas sang ahli. Model menjadi tidak berarti jika ahli tersebut memberikan penilaian yang keliru.
2. Tidak ada batas kepercayaan dari kebenaran model yang terbentuk karena metode AHP ini hanya merupakan metode matematis tanpa ada pengujian secara statistik.

Shen dan Liu (2007) menyatakan bahwa tahapan AHP adalah:

1. Menentukan kriteria-kriteria penting untuk mencapai tujuan.
2. Membuat matriks perbandingan berpasangan. Matriks perbandingan berpasangan diisi dengan skala perbandingan berdasarkan intensitas kepentingan sebagai berikut:

- 1 = Kedua elemen sama pentingnya
- 3 = Elemen yang satu sedikit lebih penting daripada elemen lainnya.
- 5 = Elemen yang satu lebih penting daripada yang lainnya.
- 7 = Satu elemen jelas lebih mutlak penting daripada elemen lainnya.
- 9 = Satu elemen mutlak penting daripada elemen lainnya.
- 2,4,6,8 = Nilai-nilai antara dua nilai pertimbangan-pertimbangan yang berdekatan, nilai ini diberikan bila ada dua kompromi di antara 2 pilihan.

Matriks perbandingan mewakili matriks perbandingan berpasangan. Jika ada n elemen yang dibandingkan, maka diperlukan sebanyak $n(n-1)/2$ buah pendapat.

Matriks perbandingan berpasangan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & \cdots & w_1/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ w_n/w_1 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

Untuk matriks yang konsisten, dapat digambarkan:

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & \dots & w_1/w_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

Atau dalam bentuk matriks:

$$A \cdot w = n w \quad (9)$$

Keterangan:

A = matriks perbandingan

W = vector eigen

n = dimensi matriks

3. Menghitung vektor eigen dari tiap matriks perbandingan berpasangan untuk mengukur rasio konsistensi. Nilai eigen yang terbesar sama dengan jumlah perbandingan, seperti pada persamaan berikut:

$$\lambda_{max} = n \quad (10)$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (11)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (12)$$

Keterangan:

CI = *consistency index*

CR = *consistency ratio*

RI = *random index*

Nilai *random index* seperti pada Tabel 2.7 berikut:

Tabel 2.7. Nilai random index

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,58

Sumber: Dalalah, dkk (2010)

Konsistensi diharapkan mendekati sempurna agar menghasilkan keputusan yang mendekati valid. Rasio konsistensi yang diterima adalah kurang dari atau sama dengan 10%. Hal ini sama artinya jika hasil *output* pada *software expert choice*, nilai *inconsistency ratio* bernilai 10% atau kurang, maka pertimbangan/pendapat yang diberikan para *expert* layak disebut konsisten (Dalalah, dkk, 2010).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tipe Penelitian

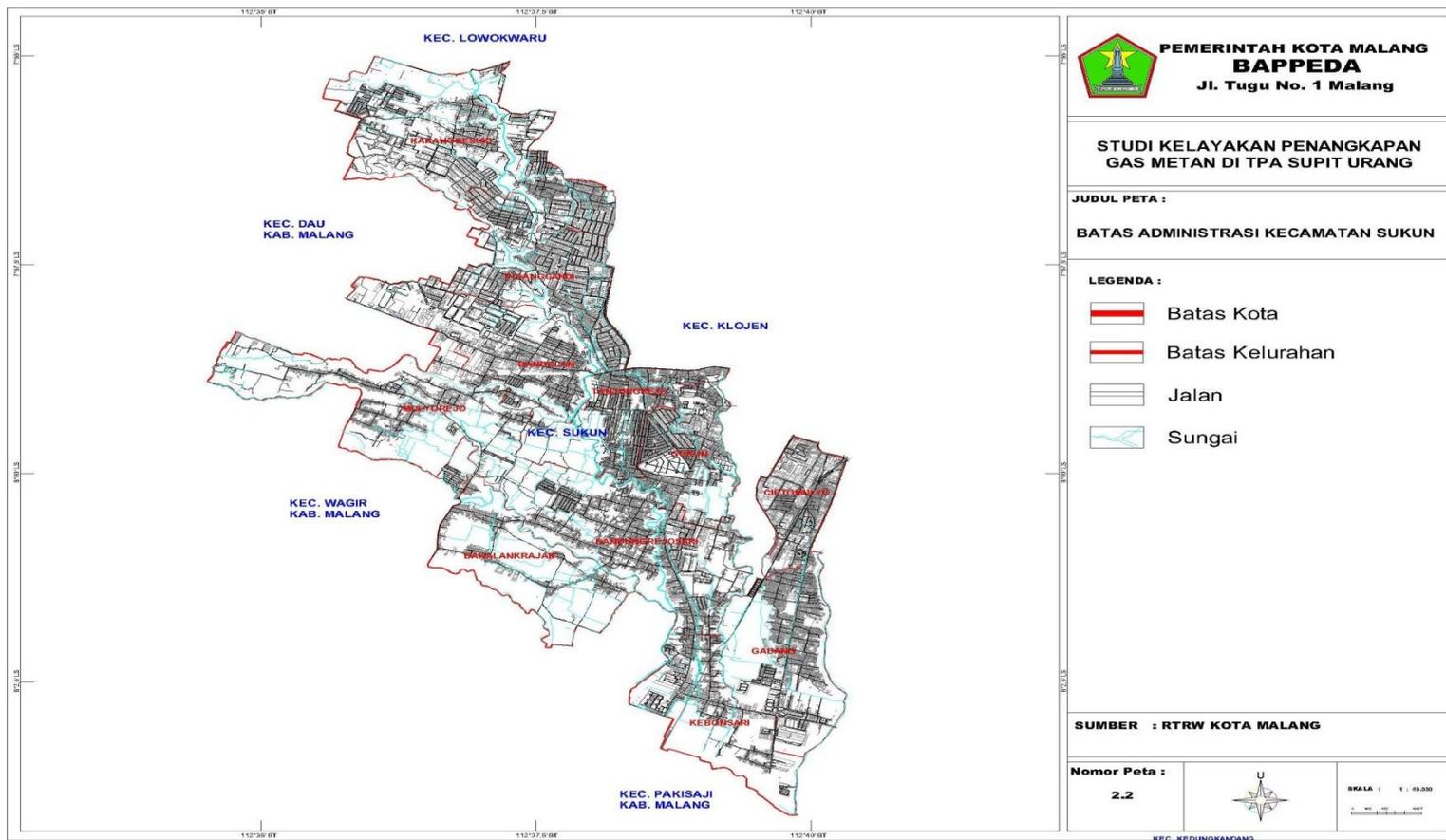
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode gabungan antara metode kualitatif dan kuantitatif.

3.2. Ruang Lingkup Penelitian

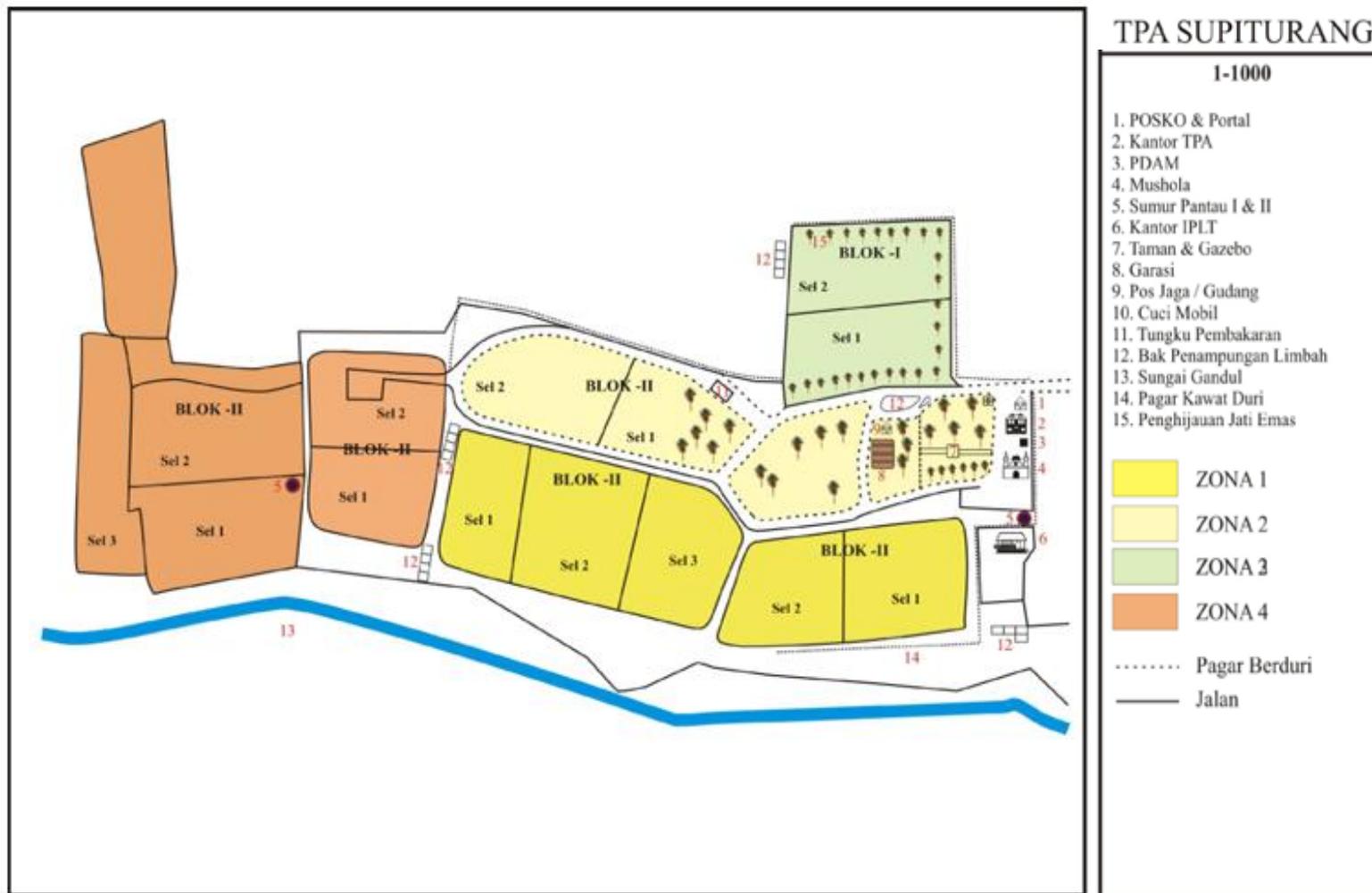
Ruang lingkup penelitian difokuskan pada pemanfaatan biogas di TPA Supit Urang Kota Malang. Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei 2014 s.d Juli 2014. Lokasi penelitian adalah di TPA Supit Urang Kota Malang.

Alasan pemilihan lokasi di TPA Supit Urang Kota Malang adalah bahwa TPA tersebut menjadi satu-satunya TPA yang ada di Kota Malang, sehingga seluruh sampah hasil dari aktifitas masyarakat yang ada di Kota Malang diangkut ke TPA Supit Urang. Dan berdasarkan Studi Kelayakan TPA Regional Malang Raya pada tahun 2011 oleh Dinas Pekerjaan Umum Cipta Karya dan Tata Ruang Provinsi Jawa Timur, hasil penelitian menyatakan bahwa TPA Supit Urang layak untuk menjadi TPA Regional di sekitar Malang Raya yang meliputi Kota Malang, Kota Batu, dan Kabupaten Malang.

Kriteria layak ditinjau dari segi administrasi, status tanah, jumlah pemilik tanah, kapasitas lahan TPA, peran serta masyarakat, jenis tanahnya adalah kedap air, ketersediaan tanah penutup, merupakan daerah yang tidak produktif untuk pertanian, dapat dipakai minimal untuk 5 sampai 10 tahun, tidak mencemari sumber air, jarak dari daerah pusat pelayanan sekitar 30 km, merupakan daerah bebas banjir, kondisi geologi, kondisi hidrogeologi, tidak terletak di kawasan cagar alam, kemiringan tanah, lingkungan biologis, demografi, kebisingan dan bau, serta estetika (Dinas Pekerjaan Umum Cipta Karya dan Tata Ruang Provinsi Jawa Timur, 2011). Selain itu, di TPA Supit Urang juga sudah memanfaatkan biogas dari sampah yang disalurkan secara gratis kepada penduduk sekitar TPA Supit Urang sebagai kompensasi Pemerintah Kota Malang kepada masyarakat karena rumah-rumah penduduk tersebut sering dilalui oleh truk-truk pengangkut sampah setiap harinya. Hal ini merupakan salah satu kebijakan Pemerintah Kota Malang dalam rangka pengelolaan sampah yang berkelanjutan. Peta lokasi penelitian seperti disajikan dalam Gambar 3.1, sedangkan *plant layout* TPA Supit Urang disajikan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.1. Peta Lokasi Penelitian
Sumber: Bappeda Kota Malang (2009)



Gambar 3.2. *Plant Layout* TPA Supit Urang
 Sumber: Bappeda Kota Malang (2009)

3.3.Variabel Penelitian

Variabel-variabel penelitian seperti disajikan pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1. Jenis Variabel Penelitian

No.	Tujuan Penelitian	Variabel	Sumber Data
1.	Mengetahui pengelolaan sampah di Kota Malang, khususnya di TPA Supit Urang Kota Malang.	<ol style="list-style-type: none"> Jumlah penduduk Kota Malang Timbulan Sampah Kota Malang Komposisi sampah Kota Malang 	<ol style="list-style-type: none"> BPS Kota Malang DKP Kota Malang Bank Sampah Malang (BSM) UPT. Supit Urang Kota Malang
2.	Mengetahui kondisi pemanfaatan biogas di TPA Supit Urang Kota Malang	<ol style="list-style-type: none"> Jumlah penduduk sekitar TPA yang memanfaatkan biogas Biaya pengadaan dan pemeliharaan penyaluran biogas 	<ol style="list-style-type: none"> DKP Kota Malang UPT Supit Urang Kota Malang Masyarakat sekitar TPA Supit Urang Kota Malang
3.	Mengetahui potensi biogas di TPA Supit Urang, persentase biogas yang sudah dimanfaatkan sebagai bahan bakar gas dan persentase biogas sebagai energi listrik	<ol style="list-style-type: none"> Potensi biogas di TPA Supit Urang Potensi biogas untuk BBG Waktu penggunaan biogas per hari Jumlah pembelian LPG per bulan Potensi biogas untuk energi listrik Kebutuhan energi listrik di sekitar TPA Supit Urang 	<ol style="list-style-type: none"> UPT. Supit Urang Kota Malang Masyarakat sekitar lokasi TPA Supit Urang Kota Malang
4.	Mengetahui prediksi pengurangan emisi gas rumah kaca dilihat dari prediksi emisi gas metan di TPA Supit Urang Kota Malang	<ol style="list-style-type: none"> Jumlah sampah di TPA Supit Urang Emisi gas metan di TPA Supit Urang 	<ol style="list-style-type: none"> DKP Kota Malang UPT. Supit Urang Kota Malang
5.	Menghitung potensi pendapatan yang diperoleh Pemerintah Kota Malang jika potensi energi listrik dari biogas tersebut dijual ke PLN Kota Malang.	Potensi biogas untuk energi listrik	<ol style="list-style-type: none"> DKP Kota Malang UPT. Supit Urang Kota Malang
6.	Mengetahui prioritas kebijakan yang dipilih oleh Pemerintah Kota Malang untuk mengoptimalkan pemanfaatan biogas di TPA Supit Urang Kota Malang		<i>Key Persons</i> dari berbagai unsur

3.4. Sumber Data Penelitian

Sumber data penelitian seperti disajikan pada Tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2. Sumber data penelitian

Sumber Data	
Data Primer	Data Sekunder
<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Key Persons (Expert Stakeholders)</i> <ol style="list-style-type: none"> a. Pemerintah (G) <ul style="list-style-type: none"> • Bappeda Kota Malang • BLH Kota Malang • DKP Kota Malang • UPT. Supit Urang Kota Malang • Kelurahan Mulyorejo b. Akademisi (A) c. Masyarakat (C) <ul style="list-style-type: none"> • Bank Sampah Malang • Kader Lingkungan Kota Malang • KSM Bina Mandiri di sekitar TPA Supit Urang Kota Malang 2. Masyarakat sekitar TPA Supit Urang Kota Malang 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Badan Pusat Statistik Kota Malang <ul style="list-style-type: none"> - Jumlah penduduk Kota Malang (s.d tahun 2013) 2. Badan Perencanaan Pembangunan daerah (BAPPEDA) Kota Malang <ul style="list-style-type: none"> - Gambaran umum Kota Malang - Perencanaan tentang TPA Supit Urang Kota Malang 3. Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Malang <ul style="list-style-type: none"> - Jumlah timbulan sampah Kota Malang (s.d tahun 2013) - Perencanaan pengembangan TPA Supit Urang Kota Malang - Perencanaan pemanfaatan biogas di TPA Supit Urang Kota Malang - Alokasi dana APBD untuk pemanfaatan biogas di TPA Supit Urang (termasuk biaya pemeliharaan, dan lain-lain). 4. UPT. Supit Urang Kota Malang <ul style="list-style-type: none"> - Jumlah sampah yang diangkut ke TPA Supit Urang Kota Malang (s.d tahun 2013). - Produk yang dihasilkan dari pengelolaan sampah di TPA Supit Urang Kota Malang. - Fasilitas pengelolaan sampah di TPA Supit Urang (apakah ada IPAL untuk lindi, incinerator, atau fasilitas lainnya) - Karakteristik TPA Supit Urang Kota Malang (luas lahan, sistem operasional TPA, luas lahan yang sudah digunakan, kedalaman <i>landfill</i>, perencanaan perluasan lahan, perencanaan perkiraan umur lahan TPA, dan sistem pengolahan sampah di TPA). - Karakteristik sampah di TPA (komposisi sampah, berat sampah, pH, kadar air, temperatur). - Produksi biogas (s.d tahun 2013), kapan mulai dilakukan penangkapan, bagaimana mekanisme penangkapan biogas dan cara kerja instalasi pemisahan air dan gas, apakah sudah dilakukan pemurnian gas metana dan bagaimana cara pemurniannya). - Mekanisme pemanfaatan biogas ke penduduk sekitar TPA Supit Urang Kota Malang. - Persentase potensi biogas untuk bahan bakar gas bagi penduduk sekitar TPA Supit Urang Kota Malang. - Persentase potensi biogas tersebut untuk energi listrik. - Berapa kWh kebutuhan listrik di sekitar TPA Supit Urang Kota Malang.

3.5. Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, teknik pengumpulan data adalah sebagai berikut:

1. *Depth Interview*, yaitu teknik pengumpulan data yang dilakukan melalui tatap muka dan wawancara antara peneliti dengan responden. Responden adalah *key persons* yang merupakan perwakilan dari berbagai unsur untuk penentuan prioritas kebijakan yang diambil dalam rangka mengoptimalkan pemanfaatan biogas. Selain itu responden adalah masyarakat di sekitar lokasi TPA yang menggunakan biogas sebagai bahan bakar gas.
2. Pengamatan (observasi), yaitu teknik pengumpulan data melalui pengamatan langsung kepada obyek penelitian. Pengamatan akan dilakukan di lokasi TPA Supit Urang Kota Malang yaitu mengenai kondisi TPA, kondisi sampah, fasilitas pengolahan sampah di TPA, cara kerja alat penangkap biogas dan instalasi pemisahan air dan gas, dan mekanisme pemanfaatan biogas ke rumah-rumah penduduk di sekitar TPA Supit Urang Kota Malang.
3. Data sekunder diperoleh dari data tertulis atau dokumen dinas/instansi terkait serta studi pustaka yang berkaitan dengan penelitian ini.

3.6. Teknik Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan dalam rangka mengetahui prioritas kebijakan pemanfaatan biogas di TPA Supit Urang. Teknik pengambilan sampel dilakukan dengan metode *Purposive Sampling* kepada *stakeholders* sebagai *key persons* sebanyak 10 responden terdiri dari perwakilan unsur pemerintah, akademisi, dan masyarakat yang berkepentingan dalam penentuan prioritas kebijakan terkait pemanfaatan biogas di TPA Supit Urang Kota Malang seperti pada Lampiran 4.

Selanjutnya penentuan jumlah sampel untuk mengukur persentase biogas yang sudah dimanfaatkan sebagai bahan bakar gas dan kebutuhan energi listrik penduduk di sekitar lokasi TPA Supit Urang Kota Malang dengan berdasarkan rumus Slovin:

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (13)$$

dimana:

n = ukuran sampel

N = ukuran populasi

e = tingkat kesalahan yang ditolerir karena kesalahan pengambilan sampel

Berdasarkan populasi penduduk sekitar TPA Supit Urang Kota Malang yang mendapat sambungan gratis kompor biogas sebanyak 408 rumah, dengan tingkat kesalahan sebesar 10%, maka diperoleh ukuran sampel sebesar:

$$n = \frac{408}{1 + 408(0,1)^2} = 80,31 = 81$$

Teknik pengambilan sampel dilakukan dengan metode *Purposive Stratified Random Sampling* untuk penduduk di sekitar lokasi TPA Supit Urang Kota Malang yang sudah memanfaatkan biogas sebagai bahan bakar gas, antara lain:

Tabel 3.3. Jumlah Sampel di Masing-Masing Wilayah

Wilayah	RT. 3	RT. 4	RT. 5	RT. 7	RT. 8	Total
Populasi (KK)	70	88	107	76	67	408
Sampel (KK)	14	17	22	15	13	81

3.7. Teknik Analisa Data

Teknik analisis data seperti disajikan pada Tabel 3.4 berikut:

Tabel 3.4. Analisis Data

No.	Tujuan	Analisis Data
1.	Mengetahui pengelolaan sampah di Kota Malang, khususnya di TPA Supit Urang Kota Malang.	Analisis deskriptif
2.	Mengetahui kondisi pemanfaatan biogas di TPA Supit Urang Kota Malang	Analisis deskriptif
3.	Mengetahui potensi biogas di TPA Supit Urang, persentase biogas sebagai bahan bakar gas dan energi listrik serta kebutuhan energi listrik di sekitar TPA Supit Urang Kota Malang	Analisis Potensi Biogas
4.	Memprediksi pengurangan emisi gas rumah kaca dilihat dari emisi gas metan di TPA Supit Urang	Model LandGEM
5.	Menghitung potensi pendapatan yang diperoleh Pemerintah Kota Malang jika potensi energi listrik dari biogas tersebut dijual ke PLN Kota Malang.	Analisis Ekonomi
6.	Mengetahui prioritas kebijakan yang dipilih oleh Pemerintah Kota Malang untuk mengoptimalkan pemanfaatan biogas di TPA Supit Urang Kota Malang.	<i>Analysis Hierarchy Process (AHP)</i>

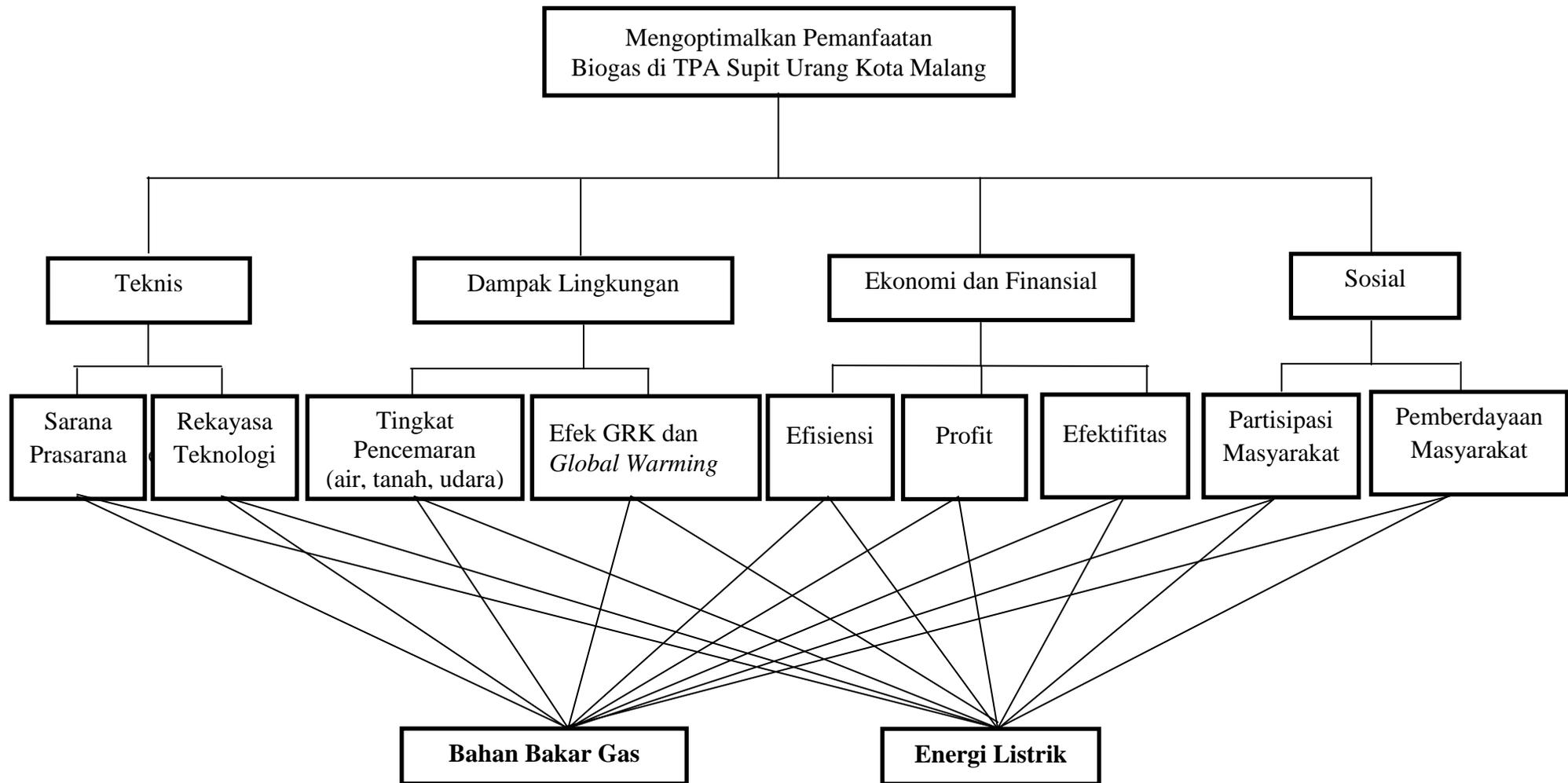
Analisis data menggunakan bantuan *microsoft excell*, *software SPSS 19*, *expert choice for windows*, dan *landgem v302*.

3.8. Definisi Operasional dan Pengukuran Variabel dalam AHP

Tabel 3.5. Definisi Operasional dan Pengukuran Variabel dalam AHP

Konsep	Kriteria	Sub Kriteria	Definisi Operasional	Pengukuran Variabel
Prioritas Kebijakan	1. Teknis	Sarana Prasarana	Seperangkat peralatan (utama dan/atau penunjang) yang digunakan dalam suatu proses kegiatan untuk mencapai tujuan tertentu (Moenir, 1992).	Nilai-nilai yang disarankan untuk membuat matriks perbandingan berpasangan adalah sebagai berikut: <ul style="list-style-type: none"> - 1 : sama penting (<i>equal</i>) - 3 : lebih penting sedikit (<i>slightly</i>) - 5 : lebih penting secara kuat (<i>strongly</i>) - 7 : lebih penting secara sangat kuat (<i>very strong</i>) - 9 : lebih penting secara ekstrim (<i>extreme</i>) - 2,4,6,8 = Nilai-nilai antara dua nilai pertimbangan-pertimbangan yang berdekatan. Nilai ini diberikan bila ada dua kompromi di antara 2 pilihan Kebalikan = Jika untuk aktivitas i mendapat satu angka dibanding dengan aktivitas j, maka j mempunyai nilai kebalikannya dibanding dengan i
		Rekayasa Teknologi	Bidang studi yang berfokus pada penerapan teknik dan teknologi modern, bukan teoritis.	
	2. Lingkungan	Tingkat Pencemaran (air, tanah, udara)	Menurut UU 32/2009, pencemaran lingkungan hidup adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan.	
		Efek Gas Rumah Kaca/ <i>Global Warming</i>	Peningkatan suhu rata-rata global yang disebabkan oleh peningkatan konsentrasi gas rumah kaca akibat aktifitas manusia	
		3. Ekonomi dan Finansial	Efisiensi Ekonomi	
	Profit		Keuntungan yang diperoleh (selisih dari input dan output)	
		Efektivitas Biaya	tujuan dapat dicapai dengan biaya yang minimal	

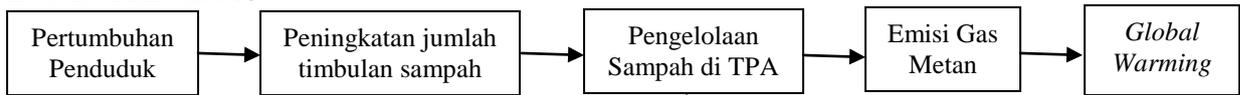
Konsep	Kriteria	Sub Kriteria	Definisi Operasional	Pengukuran Variabel
4. Sosial		Partisipasi Masyarakat	Partisipasi masyarakat adalah proses individu atau kelompok sosial dan suatu organisasi, mengambil peran serta ikut mempengaruhi proses perencanaan, pelaksanaan, dan pemantauan kebijakan kebijakan yang langsung mempengaruhi kehidupan mereka (Soemarto, 2003)	
		Pemberdayaan Masyarakat	Pemberdayaan mengacu pada kata “ <i>empowerment</i> ,” yang berarti memberi daya, power (kuasa), dan kekuatan kepada pihak yang kurang berdaya (Ife, 1995)	



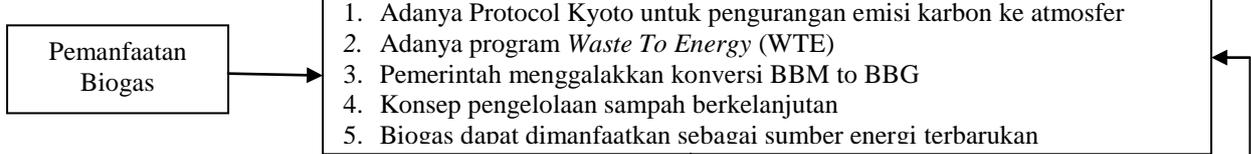
Gambar 3.3. Struktur Hierarki Alternatif Kebijakan Pemanfaatan Biogas di TPA Supit Urang Kota Malang

3.9. Kerangka Alur Pikir

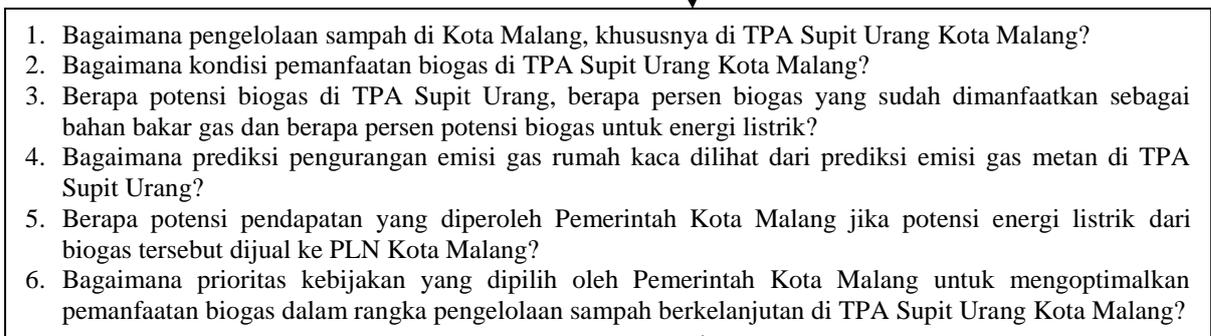
LATAR BELAKANG



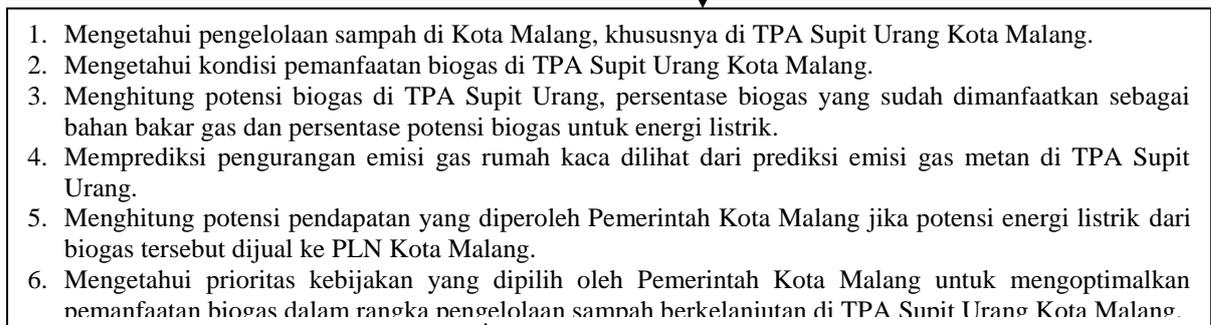
PERMASALAHAN



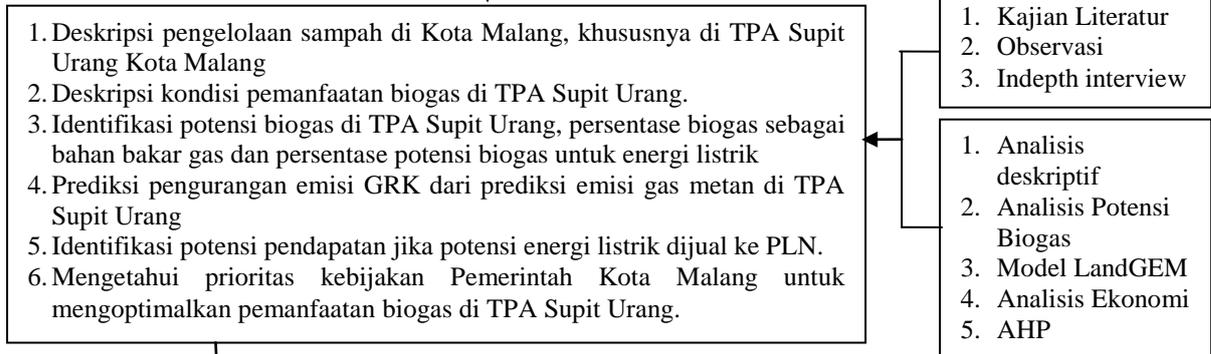
PERTANYAAN PENELITIAN



TUJUAN PENELITIAN



ANALISIS



Temuan Studi dan Rekomendasi

Arahan/Masukan

Sumber: Interpretasi Peneliti, 2014

Gambar 3.4. Kerangka Alur Pikir

