

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemakaian energi yang efisien adalah salah satu solusi dalam menjawab untuk semakin meningkatnya kebutuhan energi serta semakin sukarnya mencari ketersediaannya di lingkungan sekitar. Pertumbuhan jumlah penduduk merupakan hal yang tidak dapat dihindari. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2016, Indonesia merupakan negara yang memiliki penduduk terpadat keempat di dunia dengan jumlah total sekitar 258 juta jiwa. Sampah merupakan istilah keseharian yang mengacu pada limbah padat dalam lingkungan.

Meningkatnya jumlah sampah yang dihasilkan perkotaan berkorelasi positif dengan jumlah penduduk, dimana meningkatnya jumlah penduduk di setiap daerah menyebabkan jumlah sampah yang dihasilkan perkotaan pun semakin meningkat. Masalah pengelolaan sampah merupakan salah satu masalah utama yang dihadapi oleh kota-kota besar yang padat penduduknya. Setiap perkotaan / penduduk di Indonesia dapat menghasilkan sampah sebanyak 0,52 kg/ jiwa / hari. (Jambeck, 2015). Sehingga estimasi jumlah sampah yang dihasilkan setiap harinya sekitar 134,5 juta kg. Produksi sampah yang tinggi bila tidak disertai dengan pengelolaan yang baik, akan menimbulkan pencemaran. Penanganan sampah perlu didukung sarana dan prasarana yang memadai. Sampah sangat berpotensi menimbulkan gangguan lingkungan, baik berupa pencemaran air, tanah dan udara serta gangguan kesehatan.

Dengan pertimbangan untuk mengurangi jumlah sampah secara signifikan demi kebersihan, keindahan kota / daerah serta kesehatan bagi penduduknya, maka pemerintah melalui Peraturan Presiden (PerPres) No. 35 tahun 2018 tentang percepatan pembangunan instalasi pengolahan sampah menjadi energi listrik berbasis teknologi ramah lingkungan. Pasal 2 ayat 3 dari PerPres ini berbunyi “Pengelolaan sampah dilaksanakan untuk mendapatkan nilai tambah sampah menjadi energi listrik”.

Sampah yang didominasi oleh sampah perkotaan, dengan prosentase sebesar 44,5% (Kementerian Lingkungan Hidup 2008) dari total sampah di seluruh Indonesia. Sampah perkotaan tersebut sebagian besar merupakan sampah makanan, selain itu, terdapat juga sampah-sampah yang berasal dari pasar, jalanan, fasilitas umum, dll. sampah yang dihasilkan pun menjadi beragam, dari sampah organik sampai sampah jenis lain seperti plastik, logam, kaca, kimia, dll. Sudibyo et al., (2017) menyatakan bahwa sebagai negara berkembang, sampah di Indonesia didominasi oleh sampah organik, yaitu sebesar 60 % - 70 %.

Sampah yang ada, biasanya dikumpulkan oleh petugas dan ditampung di Tempat Pembuangan Sementara (TPS). Kemudian sebagai tahap akhir, semua sampah akan dikelola di Tempat Pembuangan Sampah Akhir (TPA). TPA adalah tempat untuk mengisolasi sampah agar dapat diminimalisasi dampaknya bagi lingkungan yang lebih luas.

Daya tampung TPA Jatibarang sebanyak 4,15 juta m³ sampah. TPA ini mulai dioperasikan pada tahun 1993-1994. Dan volume sampah yang masuk ke TPA per hari sekitar 3750 m³ per hari atau 750-800 ton per hari. Estimasi umur pakai tinggal 4-5 tahun lagi dengan sistem pengelolaan seperti yang sekarang ini, yaitu *open dumping* hanya pada musim penghujan, serta *control landfill* serta menuju *Improved Sanitary Landfill*.

Pengolahan sampah perkotaan, menurut Autret *et al.*, (2007) ada 3 pendekatan termal yang digunakan, yaitu teknik insinerator, teknik gasifikasi konvensional dan teknik gasifikasi plasma. Teknik *Incinerator* pada dasarnya merupakan reaksi kimi dari oksigen dengan bahan yang dibakar. Selama incenerasi, dihasilkan flue gas yang bersifat panas dan dapat digunakan sebagai energi. Proses Gasifikasi Konvensional hanya dapat mengkonversikan bahan organik / *fossil fuels* menjadi produk yang dapat digunakan untuk pembangkitan energi lainnya. Sudibyo et al. (2017) menyatakan bahwa hasil dari proses gasifikasi udara ini bukanlah *flue gas* yang panas seperti halnya pada insinerator, melainkan *syngas* yang panas yang mengandung sejumlah produk gas yang memiliki nilai kalori.

Gasifikasi Plasma merupakan sebuah proses oksidasi termal terbatas, yang mereaksikan *uap*, udara ataupun oksigen diberikan pada reaksi tersebut sebagai *GA*.

(Khuriati, 2018) menyatakan bahwa temperatur tinggi pada proses ini dihasilkan dari *plasma torch* yang *GA* nya itu dikonversikan menjadi *plasma air*.

Tiga konsep lingkungan yang menarik dalam gasifikasi plasma pemusnahan sampah adalah:

1. Proses mengkonversikan bahan organik menjadi produk yang dapat digunakan untuk pembangkitan energi lainnya.
2. Proses plasma dapat menguraikan senyawaan berbahaya dan beracun menjadi unsur-unsur asal dan sederhana, sehingga tidak lagi berbahaya bagi lingkungan.
3. Proses pemulihan bahan ikutan sampah menjadi bahan-bahan yang memiliki nilai lebih baik, seperti berbagai logam yang dapat dikembalikan ke industri metalurgi, sehingga mengurangi penggunaan sumber daya alam bahan tambang.

Tampak bahwa sampah bisa merupakan sumber bahan energi yang sangat bersih apabila dihitung berdasarkan manfaat dari berbagai sisi, terutama apabila ditinjau dari dampak proses terhadap emisi lingkungan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian dalam latar belakang bahwa pengelolaan sampah konvensional yang ada saat ini masih banyak menyisakan masalah-masalah terutama pencemaran gundukan sampah, mulai dari bau sampai bencana, walau sudah menggunakan berbagai teknologi seperti pengelolaan sampah terpadu. Penelitian terkini menunjukkan bahwa teknologi gasifikasi plasma merupakan pilihan yang terbaik untuk mengatasi permasalahan semakin menggunungnya sampah, meminimalkan polusi udara yang ditimbulkan dari pengolahan sampah secara konvensional serta mencari potensi energi terbarukan.

Gasifikasi plasma masih merupakan teknologi yang baru, dan belum ada di Indonesia, sehingga masih perlu dilakukan penelitian, yang diawali dengan tesis ini. Dalam mengawali penelitian, tahapan yang dilakukan ialah dengan pemodelan.

Sehingga rumusan masalah dalam penelitian terkait pengolahan sampah dengan gasifikasi plasma ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pemodelan yang tepat untuk gasifikasi plasma yang sesuai dengan mayoritas jenis sampah di Indonesia ?
2. Bagaimana teknologi gasifikasi plasma dapat dimanfaatkan untuk memproduksi energi baru terbarukan, yang berupa gas hidrogen ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan umum dari penelitian ini ialah : mendukung kemandirian energi nasional dengan penemuan dan pemanfaatan sumber energi baru yang berasal dari sampah.

Tujuan khusus dari penelitian ini ini ialah diselenggarakan untuk : menganalisis model simulasi pada teknologi gasifikasi plasma untuk memperoleh parameter proses dalam mempengaruhi parameter kinerja reaktor gasifikasi plasma untuk pengembalian energi yang optimum dari sampah.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat terhadap bangsa Indonesia terkait dengan kemandirian energi nasional, melalui pemanfaatan sumber daya yang sebelumnya terabaikan dan menjadi sumber ancaman bagi kesehatan dan lingkungan. Serta pihak-pihak yang terkait dengan pengelolaan sampah ataupun instansi Lingkungan Hidup tentang :

1. Meningkatkan kemandirian energi nasional dengan penemuan dan pemanfaatan sumber energi baru dari sampah.
2. Pengelolaan sampah untuk meningkatkan kesehatan masyarakat dan kualitas lingkungan dan mengurangi volume sampah secara signifikan demi kebersihan dan keindahan lingkungan.
3. Mengurangi polusi udara akibat asap dari pengolahan sampah dengan cara pembakaran maupun dari perusakan tanah akibat penimbunan sampah ataupun air lindi.

4. Pemanfaatan hasil energi dari pengolahan sampah melalui gasifikasi plasma untuk dijadikan sumber daya baik berupa energi kimia ataupun energi listrik.

1.5 Originalitas Penelitian

Penelitian tentang teknologi Gasifikasi Plasma pada sampah telah banyak dilakukan di berbagai negara, baik dengan menggunakan pendekatan metode *process engineering* dengan bantuan perangkat lunak ASPEN Plus ataupun dengan metode eksperimen ataupun merupakan kombinasi antara keduanya. Ringkasan penelitian sebelumnya terkait penelitian Gasifikasi Plasma untuk sampah dapat dilihat pada Tabel 1.1

Tabel 1. 1 Ringkasan penelitian terdahulu

No	Peneliti/ta hun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Khuriati <i>et al.</i> , (2018a)	Application of Aspen Plus for Municipality Solid Waste Plasma Gasification Simulation : case study of Jatibarang Landfill in Semarang, Indonesia	<ol style="list-style-type: none"> i. Produksi <i>Syngas</i> H₂ menjadi lebih banyak bilamana menggunakan uap lebih banyak daripada udara normal sebagai <i>GA</i>. ii. Sedangkan untuk efisiensi bernilai lebih tinggi bilamana <i>GA</i> nya hanya menggunakan udara normal saja. iii. Validasi model menggunakan (Minutillo, 2009) untuk melihat fraksi mol dari komponen <i>Syngas</i> yang dihasilkan Gasifikasi Plasma.
2.	Valmunds son and Janajreh, (2014)	Plasma Gasification Process Modeling and Energy Recovery from Solid Waste	<ol style="list-style-type: none"> i. Pembuatan model Gasifikasi Plasma menggunakan Aspen Plus dan divalidasi dengan menggunakan (Minutillo, 2009). ii. <i>GA</i> yang digunakan ialah campuran dari udara normal dan uap. iii. Dengan tiga jenis RDF, yaitu limbah ban, limbah perkayuan dan limbah pembakaran

No	Peneliti/ ta hun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
3.	Favas, Monteiro and Rouboa, (2017)	Hydrogen Production using Plasma Gasification with Steam Injection	<p>batubara, diperoleh CGE sebesar 46,4%, 41,1% dan 41,1%.</p> <p>i. Pembuatan model Gasifikasi Plasma menggunakan Aspen Plus dan divalidasi dengan menggunakan (Diaz, 2015).</p> <p>ii. <i>GA</i> yang digunakan ialah <i>uap</i>. ER (rasio kesetaraan = <i>equivalent ratio</i>) yang tinggi memberikan efek yang negative pada produksi H₂, dengan SBR (rasio uap dengan biomas = <i>uap biomass ratio</i>) yang tinggi memberikan efek yang positif terhadap produksi H₂. Temperatur yang semakin tinggi, malah memberikan efek negative terhadap produksi H₂.</p> <p>iii. Dari ketiga jenis sampah, yaitu sisa perkebunan kopi, tanaman merambat (<i>vines</i>) serta tanaman hutan, diperoleh LHV syngas tertinggi pada pengolahan <i>vines</i></p>
4.	A Mountour is, Voutsas and Tassios, (2006)	Solid Waste Plasma Gasification : Equilibrium Model Development and Exergy Analysis	<p>i. Ada 3 parameter yang hendak dievaluasi untuk memperoleh skenario optimum untuk efisiensi energi terbaik, yaitu : <i>feedstock moisture content</i>, oksigen (<i>air flow rate</i>) serta temperature gasifikasi</p> <p>ii. Peningkatan dari jumlah <i>uap</i> yang diberikan ke proses gasifikasi semakin meningkatkan reaksi reforming, sehingga konsentrasi hidrokarbon berkurang sedangkan lebih banyak H₂ yang dilepaskan</p> <p>iii. Peningkatan <i>air flow rate</i> sebaiknya tidak terjadi, karena akan meningkatkan</p>

No	Peneliti/ ta hun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
			<p>kandungan N_2 di dalam <i>Syngas</i> serta mengurangi nilai HHV <i>Syngas</i></p> <p>iv. Peningkatan temperature gasifikasi menyebabkan peningkatan konsentrasi CO dan H_2</p> <p>v. Peningkatan <i>moisture content</i>, <i>oxygen content</i> serta temperature gasifikasi, berimbang negatif terhadap efisiensi CGE dan <i>exergy</i>.</p>
5.	Gil <i>et al.</i> , (1999)	Biomass gasification in atmospheric and bubbling fluidized bed: Effect of the type of gasifying agent on the product distribution	<p>i. Gasifikasi yang digunakan merupakan jenis gasifikasi konvensional dengan menggunakan biomassa sebagai <i>feedstock</i>.</p> <p>ii. GA yang digunakan ialah udara bebas (<i>air</i>), uap murni (<i>uap murni</i>) dan campuran dari uap dan oksigen (<i>mixture of steam and oxygen</i>).</p> <p>iii. Perolehan fraksi mol Hidrogen yang terbesar yang disertai dengan LHV terbesar diperoleh dengan menggunakan GA jenis <i>uap murni</i>.</p>
6.	Minutillo, Perna and Bona, (2009)	Modelling and performance analysis of an integrated plasma gasification combined cycle (IPGCC) power plant	<p>i. Model <i>Plasma Gasification Reactor</i> : <i>EquiPlasmaJet</i> (EPJ) menggunakan Aspen Plus</p> <p>ii. Feedstock yang digunakan ialah RDF (<i>refuse derived fuel</i>)</p> <p>iii. GA yang digunakan ialah udara, 60%Nitrogen+40% oksigen dan udara+oksigen.</p> <p>iv. Energi yang dibutuhkan untuk memanaskan reaktor gasifikasi plasma lebih sedikit pada reaktor yang menggunakan oksigen.</p>

No	Peneliti/ ta hun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
7.	Zhang <i>et al.</i> , (2012)	Gasification of Municipal Solid Waste in the Plasma Gasification Melting Process	<p>i. Diantara sekian teknologi Gasifikasi Plasma, HiTAG (<i>High Temperature GA</i>) terbukti menjadi teknologi yang efisien. Dengan memanaskan <i>GA</i>, dapat dengan drastis mengurangi kebutuhan udara di dalam proses gasifikasi, sehingga konsentrasi N_2 dan CO_2 (<i>non-combustible gas</i>) dapat dikurangi. Kelebihan lainnya ialah <i>tar yield</i> dapat dikurangi akibat dari temperature yang tinggi. Serta system di dalam reactor menjadi lebih stabil serta kualitas dari <i>Syngas</i> menjadi lebih baik, dengan ukuran partikel, <i>heating value</i> (LHV) dan <i>moisture content</i> pada sampah bisa menjadi sedikit bervariasi.</p> <p>ii. Performan HiTAG <i>Plasma Gasification</i> ini dapat lebih ditingkatkan dengan penggunaan uap bertemperatur tinggi. Kombinasi Gasifikasi Plasma dengan system HiTAG disebut sebagai PGM (<i>Plasma Gasification Melting</i>).</p> <p>iii. LHV syngas yang dihasilkan dari PGM memiliki nilai yang tinggi yaitu 6-7 MJ/Nm³). CGE dari PGM dengan <i>GA</i> yaitu campuran udara dan uap, dapat mencapai 60%.</p> <p>iv. Pembentukan <i>tar</i> merupakan rugi-rugi energi yang utama dari PGM reactor.</p>
8.	Hlina <i>et al.</i> , (2014)	Production of High Quality Syngas from	<p>i. Dengan menggunakan <i>GA</i> berupa Argon dan uap, dapat dihasilkan <i>Syngas</i> H_2 dan CO dengan kualitas kemurnian sekitar 90%.</p>

No	Peneliti/ ta hun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
		Argon-Water Plasma Gasification of Biomass & Waste	ii. Kualitas kemurnian tinggi ini diakibatkan oleh suhu yang sangat tinggi, laju aliran massa <i>GA</i> yang rendah serta komposisi <i>GA</i> yang sesuai. iii. Efisiensi tertinggi diperoleh dengan menggunakan <i>Biomass Sawdust</i> sebagai <i>Feedstock</i> , dibandingkan dengan menggunakan bijih kayu/ <i>pellet</i> , plastik ataupun oli bekas.
9	Chumak <i>et al.</i> , (2015)	Plasma Gasification of Refuse Derived Fuel in a Single- Stage System Using Different Gasifying Agents	i. kisaran suhu percobaan dari 1400-1600 K dan untuk semua kasus, <i>Syngas</i> memiliki nilai <i>lower heating value</i> (LHV) hingga 10,9 MJ/Nm ³ , kadar pembentukan <i>Tar</i> yang rendah, <i>Syngas Yield</i> untuk CO dan H ₂ yang tinggi dengan komposisi gas tersebut sesuai dengan komposisi kesetimbangannya. ii. X _c berkisar antara 80-100% dan CGE bernilai 56% dan MGE bernilai 94-95% serta rasio dengan menggunakan <i>GA Uap</i> .
10.	Diaz <i>et al.</i> , (2015)	Enhanced Hydrogen Production using Steam Plasma Processing of Biomass : Experimental apparatus and procedure	i. cara untuk meningkatkan kandungan Hidrogen dalam <i>Syngas</i> ialah dengan menggunakan 2 tahap system Gasifikasi Plasma menggunakan <i>High Temperature Steam</i> , Tahap awal menggunakan <i>contact glow discharge electrolysis</i> (CDGE) untuk membangkitkan uap. <i>Output uap</i> dari tahap awal, digunakan sebagai <i>GA</i> untuk tahap akhir. Pengukuran akhir diperoleh bahwa fraksi mol dari H ₂ mencapai lebih dari 50%.

No	Peneliti/ ta hun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
			ii. Dengan penambahan laju <i>uap</i> , harus diimbangi dengan laju <i>feedstock</i> , supaya terjadi reaksi antara <i>uap</i> dengan <i>feedstock</i> dan tidak ada <i>uap</i> yang tersisa, tidak bereaksi dan terbuang percuma (bilamana laju <i>feedstock</i> kurang) ataupun terjadi <i>Tar</i> , bilamana laju <i>uap</i> nya kurang.

Dari beberapa penelitian di atas, terbagi atas empat kategori, yaitu :

1. Simulasi Gasifikasi Plasma
 - a. penelitian dari (Khuriati, 2018) dengan judul “Application of Aspen Plus for Municipal Solid Waste Plasma Gasification Simulation: Case Study of Jatibarang Landfill in Semarang Indonesia”.
 - b. penelitian dari (Mountouris, 2006) dengan judul “Solid Waste Plasma Gasification : Equilibrium Model Development and Exergy Analysis” .
 - c. penelitian dari (Valmundsson, 2014) dengan judul “Plasma Gasification Process Modeling and Energi Recovery from Solid Waste” .
 - d. penelitian dari (Favas, 2017) dengan judul “Hydrogen Production using Plasma Gasification with Steam Injection” .
2. Simulasi Integrasi Gasifikasi Plasma sebagai Pembangkit Listrik
 - a. penelitian dari (Minutillo, 2009) dengan judul “Modelling and Performance Analysis of an Integrated Plasma Gasification Combined Cycle (IPGCC) Power Plant”.
3. Experiment dan Optimasi dari Gasifikasi Plasma
 - a. penelitian dari (Zhang, 2012) dengan judul “Gasification of Municipal Solid Waste in the Plasma Gasification Melting Process”.

- b. penelitian dari (Chumak, 2015) dengan judul “Plasma Gasification of Refuse Derived Fuel in a Single-Stage System Using Different Gasifying Agents” .
 - c. penelitian dari (Hlina, 2014) dengan judul “Production of High Quality Syngas from Argon-Water Plasma Gasification of Biomass & Waste” .
 - d. penelitian dari (Diaz, 2015) dengan judul “Enhanced Hydrogen Production using Steam Plasma Processing of Biomass : Experimental Apparatus and Procedure” .
4. Experiment dan Optimasi dari Gasifikasi Konvensional
- a. Penelitian dari (Gil, 1999) dengan judul “Biomass gasification in atmospheric and bubbling fluidized bed: Effect of the type of gasifying agent on the product distribution”

Dari penelitian tersebut di atas, telah dilakukan simulasi gasifikasi plasma dengan menggunakan feedstock RDF, GA-nya menggunakan udara, campuran oksigen dan udara oleh Minutillo *et al.* (2009), simulasi gasifikasi dengan menggunakan feedstock MSW, GA menggunakan udara, campuran udara dan uap oleh Khuriati *et al.* (2018), serta simulasi gasifikasi plasma menggunakan *feedstock* limbah ban, limbah kayu dan limbah batubara dengan GA-nya menggunakan campuran udara dan uap oleh Valmundsson and Janajreh (2014) dan simulasi gasifikasi plasma menggunakan feedstock limbah kopi, limbah vines dan tanaman hutan dengan GA-nya menggunakan uap saja oleh Favas *et al.* (2017).

Pada penelitian dari Gil *et al.* (1999), penggunaan dari tiga GA, yaitu Udara, Campuran *Uap* dan Oksigen serta *Uap* diterapkan pada proses gasifikasi konvensional dengan menggunakan biomasa sebagai *feedstock* nya.

Parameter performa yang difokuskan oleh Minutillo *et al.* (2009) serta Khuriatie *et al.* (2018) juga tidak membahas mengenai efisiensi konversi karbon, *Syngas Yield* serta *CO₂ emission*, hanya membahas mengenai molar fraksi H₂, *Syngas LHV* serta Efisiensi Gasifikasi Dingin (CGE). Sementara pada tesis ini, selain membahas mengenai molar fraksi dari H₂, juga membahas mengenai *Syngas Yield*, *Syngas*

LHV, Efisiensi Konversi Karbon (CCE), Efisiensi Gasifikasi Mekanikal (MGE) dan Efisiensi Gasifikasi Dingin (CGE)

Sementara parameter performa yang difokuskan oleh Valmundsson and Janajreh (2014) hanya membahas mengenai cold gas efficiency dengan variasi rasio syngas agentnya antara uap dengan udara pada berbagai jenis feedstocknya.

Pada tesis ini, akan menggunakan feedstock MSW menggunakan data *proximate analysis* dan *ultimate analysis* dari Khuriati *et al.* (2018), dengan GA nya yang bervariasi, dimulai dari penggunaan udara, lalu campuran oksigen dengan uap serta dengan uap murni dengan variasi nilai yang berbeda.

Rentang rasio operasi dari GA, baik menggunakan udara, campuran uap dengan oksigen ataupun uap murni, menggunakan rentang nilai yang telah ditelaah oleh Gil *et al.* (1999). Rentang temperature untuk syngas, menggunakan rentang nilai yang telah ditelaah oleh Bocci *et al.* (2014) dan Minutillo *et al.* (2009). Rentang temperature untuk PGZ menggunakan rentang nilai yang telah ditelaah oleh Li *et al.* (2016) dan Minutillo *et al.* (2009)

Serta untuk konsumsi daya, baik untuk pembangkitan plasma, menggunakan rentang nilai yang telah ditelaah oleh Diaz *et al.* (2015) dan Chumak *et al.* (2015), serta konsumsi daya untuk pembangkitan uap serta konsumsi daya untuk pembangkitan oksigen, menggunakan nilai yang telah diteliti oleh Minutillo *et al.* (2009).